521
522

L'UNIVERSO STELLATO

DOTT. M. GUGLIELMO MEYER
Direttore dell'Osservatorio « Urania » — Berlino

L'UNIVERSO STELLATO

TRATTATO DI ASTRONOMIA POPOLARE

Traduzione italiana consentita dall'Autore
arricchita di Note ed Aggiunte per le scoperte e gli studi astronomici italiani

A CURA DELL'INGEGNERE

OTTAVIO ZANOTTI BIANCO
Libero docente di Geodesia teoretica nella R. Università di Torino

OPERA ILLUSTRATA CON 304 INCISIONI NEL TESTO, 12 CARTE
E 31 TAVOLE SEPARATE IN NERO E A COLORI

TORINO
UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE
(Già Ditta POMBA e C.)
1900

La Società Editrice intende riservarsi i diritti di Proprietà Letteraria, accordati dalla vigente Legge e Convenzioni internazionali, sulla presente Traduzione e sulle Aggiunte originali introdotte.

AL CORTESE LETTORE

Invitato, con lusinghiero attestato di stima, dalla benemerita Unione Tipografico-Editrice a tradurre in italiano l'opera del Meyer, che qui si presenta al pubblico studioso del nostro Paese, accettai di buon grado. Ho fatto del mio meglio: ma ora, ad opera compiuta, mi avvedo di quanto io sia rimasto inferiore al còmpito affidatomi ed alla fiducia dimostratami. Supplisca, di grazia, il lettore cortese coll'attenzione e colla benevolenza alla mia deficienza, e voglia perdonare le troppe mende della traduzione, pensando che la infelice mia vista non mi consentì che una sola e molto sommaria revisione delle bozze, e che il lavoro non fu nè facile, nè breve, nè dilettevole; possa esso almeno riuscire non del tutto inutile. — Inutili spero non saranno trovate le Note che v'aggiunsi. — Gradite, mi lusingo, riusciranno le notizie intorno ad alcuni dei principali Osservatorî astronomici dell'Italia nostra, che la cortesia dei Direttori di essi ci ha fornito e permesso di mettere assieme. Si abbiano quei valorosi e gentili scienziati i più cordiali ringraziamenti dell'Unione e miei.

Torino, Febbraio 1900.

Ottavio Zanotti Bianco.

PREFAZIONE DELL'AUTORE

Il presente Trattato si distingue, per molti rispetti, dalle descrizioni popolari del Cielo pubblicate fino ad oggi. Io ho cercato di convincere il lettore della probabilità e dell'attendibilità dei risultati della ricerca che venivo esponendo, senza far uso di apparato scientifico, anche quando la dimostrazione rigorosa non si poteva svolgere.

Nel dominio dell'Astronomia, appunto, una trattazione di tal fatta era tanto più vivamente desiderata da una larga cerchia di lettori, inquantochè le cognizioni astronomiche sfuggono al controllo del pensiero. Sino ad oggi era pur d'uopo accettare senz'altro per giusto quanto i cultori dell'Astronomia affermavano. Ma a quel modo non era possibile giungere ad acquistare una conoscenza scientifica vera, ma solo una credenza in questo ramo del sapere, altissimo fra i trionfi dell'intelligenza umana; credenza non scevra talvolta di qualche diffidenza.

La causa naturale di un tale cattivo stato di cose è la necessità di adoperare nelle ricerche astronomiche i procedimenti dell'alta matematica, procedimenti che le persone di coltura generale solo in casi rarissimi possono applicare. Ma poichè, in fondo, l'analisi matematica non è altro se non un aiuto al lavoro del nostro pensiero, così teoricamente non è dubbio che tutti i risultati ottenuti a mezzo di essa non si possano anche esporre senza farne uso. Però il lavoro del pensiero diviene allora generalmente molto complicato. Ma quando la traduzione del linguaggio matematico in quello della vita ordinaria era possibile senza lunghi giri di parole, noi seguimmo qui, di deduzione in deduzione, quella serie di ragionamenti che condusse alle più alte intuizioni della grandezza e dell'unità dell'Universo stellato.

Anche nella parte puramente descrittiva io mi sono attenuto all'idea di esporre prima i fatti accertati dall'osservazione di quanto si vede, senza fare presupposizioni, e poi risalire da quanto si vede alla causa ed alla connessione dei fenomeni. Ho compilato il lavoro attenendomi a questa norma. Da ciò derivarono naturalmente e necessariamente la distribuzione e la disposizione presenti delle materie trattate, così, che l'esposizione non è una serie di capitoli casualmente succedentisi l'un l'altro, descriventi i vari fenomeni celesti, ma costituisce un tutto omogeneo e di per sè ordinato ed informato ad unità.

Avendo così di mira più di sviluppare i concetti dirigenti le ricerche, che non di descrivere dettagliatamente, la chiarezza doveva primeggiare sulla ricchezza. A questo modo si riesce bensì a presentare all'intelligenza un'immagine unita per quanto è possibile, ma che, appunto in causa di ciò, può in talune parti esibirci dei contorni spiccati, ma però solo quasi come in uno schizzo. In particolare giova qui avvertire che molti dati numerici, forniti in una od in un'altra questione, non debbono valere come esatti incondizionatamente, poichè spesso essi devono subire modificazioni od aggiunte, che per amor di chiarezza si tralasciarono.

All'opera vanno unite tabelle, nelle quali sono raccolti i risultati numerici delle ricerche astronomiche, nel loro stato più recente.

Poichè dovetti rinunziare ad essere completo, cercai nella scelta di raccogliere tutto ciò che risultò dalle moderne indagini maggiormente fondato e degno di nota per la rappresentazione del disegno generale dell'Universo. Si evitò, per quanto fu possibile, l'ipotetico ed il controverso. A dire il vero, in molti rami delle discipline astronomiche si sono in questi ultimi tempi aperti dei nuovi punti di vista fondamentali, così che una parte del nostro sapere acquisito a tutt'oggi appare incerto, nè pare finora di poterlo assodare con nuove esperienze. Così è ad esempio delle nostre vedute moderne sopra la costituzione di quel corpo celeste eccellentissimo che è il Sole. Io ho quindi posto di fronte le opinioni più accreditate, senza poi pronunziarmi per l'una o per l'altra, anche quando io propendeva piuttosto per una di esse.

Tuttavia, io venni meno al proposito di evitare l'ipotetico, nell'ultimo capitolo sulla *Storia dell'evoluzione dell'Universo*. Io sottopongo le idee che vi esposi, e che ancora abbisognano di largo svolgimento, alla benevola attenzione degli uomini competenti.

Come tutte le scienze naturali, così anche quella del Cielo si è in queste ultime decine d'anni di tanto accresciuta, che non è più possibile, neppure all'astronomo, di poterla con sicurezza tutta abbracciare, ben lungi poi dal possederla. Per scansare quindi, per quanto stava in me, errori, io ricorsi alla bontà di alcuni dotti specialmente profondi in talune questioni onde volessero, prima della stampa, rivedere i capitoli dell'opera che a quelle si riferiscono, e ad essi qui offro cordialissimi i miei ringraziamenti. Così il signor prof. Schiaparelli di Milano ha sottoposto ad una esauriente revisione il capitolo su Marte, ed altrettanto vollero fare il signor Scheiner di Potsdam per quelli sull'analisi spettrale ed il sole, il signor Ginzel, astronomo dell'Istituto di calcolo dell'Osservatorio di Berlino pel capitolo sulle eclissi, ed il signor Seeliger di Monaco per quello sopra la gravità, mercè del che il valore di questo lavoro fu notevolmente accresciuto. Io debbo inoltre sentitamente ringraziare i signori professori Vogel di Potsdam, Holden del Monte Hamilton (California), Hale, Barnard, Keeler di Chicago per il loro valido appoggio e la concessione di originali fotografici e di altro materiale. Nel raccogliere dati originali nel campo della fotografia celeste il signor dottor Necker, ora assistente a Strasburgo, mi ha reso servizi, dei quali gli son grato: alla grave fatica di sovraintendere alla stampa e di rivederne le prove si sobbarcò il signor Witt dell'Osservatorio *Urania* in Berlino, coadiuvato dal signor Blochmann. Per ultimo, con non minore cordialità, io ringrazio la Casa Editrice, la cui prudenza e liberalità tornarono tanto giovevoli all'opera, nella sua redazione, nella sua stampa e nella sua illustrazione.

Berlino, Novembre 1897.

INDICE DEI CAPITOLI

Introduzione.

1. Materia ed importanza dell'Astronomia *Pag.* 3
2. La luce ed il cannocchiale . . . » 17
3. La fotografia celeste . . . . . » 43
4. La fotometria . . . . . » 62
5. L'analisi spettrale . . . . . » 64

I. — Descrizione dei corpi celesti.

Sguardo generale . . . . . *Pag.* 85
A. *Il mondo del Sole* . . . . . » 87

1. La Luna . . . . . » 87
2. Mercurio . . . . . » 120
3. Venere . . . . . » 126
4. Marte . . . . . » 133
5. I piccoli pianeti . . . . . » 165
6. Giove . . . . . » 171
7. Saturno . . . . . » 186
8. Urano . . . . . » 201
9. Nettuno . . . . . » 204
10. Le Comete . . . . . » 207
11. Le meteore cosmiche e la costituzione fisica delle comete . . . . . » 247
12. La luce zodiacale . . . . . » 283
13. Il Sole . . . . . » 286

B. *Il mondo delle Stelle fisse* . . . » 332

14. Generalità . . . . . » 332
15. La serie spettroscopica delle stelle . . » 347
16. Le nebulose e le coacervazioni di stelle » 353
17. La Via Lattea . . . . . *Pag.* 390
18. Le Stelle doppie . . . . . » 407
19. Le Stelle variabili e le Stelle nuove . » 421

II. — I movimenti dei corpi celesti.

1. Gli apparecchi astronomici di misura *Pag.* 449
2. La forma e la grandezza della Terra . » 480
(Sullo stato presente dei lavori geodetici in Italia. Aggiunta del Traduttore) » 526
3. I movimenti apparenti del Sole e la divisione del tempo. Precessione e nutazione. Determinazione della posizione di una nave in mare . . . . . » 535
4. I movimenti apparenti della Luna. La parallasse . . . . . » 561
5. Il Calendario . . . . . » 569
6. Le eclissi di Luna e di Sole . . . . » 574
7. Eclissi dei satelliti dei pianeti. Occultazioni e passaggi. La parallasse solare . » 595
8. I movimenti apparenti dei pianeti . . » 606
9. Le idee cosmogoniche prima di Newton » 608
10. Il sistema del mondo secondo Newton » 631
11. L'aberrazione della luce e la parallasse delle Stelle fisse . . . . . » 677
12. Il moto proprio delle Stelle fisse e del sistema solare . . . . . » 689
13. La gravitazione . . . . . » 702
14. Istoria dell'evoluzione dei mondi . . » 712
Notizie intorno ad alcuni principali Osservatori astronomici italiani . . . » 735

INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI

Tavole in colore.

Paesaggio durante un eclisse solare . . *Pag.* 7
Fotografie della Luna e della Corona solare (elio-incisione) . . . . . » 47
Spettri di vari corpi celesti . . . . . » 73
Paesaggio ideale sul pianeta Marte . . . » 157
Giove e Saturno . . . . . » 186
Paesaggio con una grande Cometa di forma normale . . . . . » 211
Comete lucenti con code . . . . . » 222
Teste di Comete . . . . . » 233
Tipi di meteoriti . . . . . » 257
Protuberanze solari . . . . . » 304
Spettri di stelle fisse . . . . . » 351
La nebulosa d'Orione . . . . . » 367
Disegni di nebulose a spirale, secondo Lassell » 380
Nebulose di differenti forme . . . . . » 383
Sole di mezzanotte nel Mare polare . . . » 550
Eclisse parziale di Luna . . . . . » 574
Aspetto del pianeta Giove da un luogo ideale di osservazione sopra uno dei suoi satelliti » 596
Eclisse di Sole sulla Luna . . . . . » 718

Tavole in nero.

Grande refrattore dell'Osservatorio Lick (Monte Hamilton) in California . . . *Pag.* 31
Il mare Crisium sulla Luna . . . . . » 97
La catena degli Apennini sulla Luna . . . » 106
Rilievi fotografici lunari di Loewy e Puiseux in Parigi . . . . . » 112
La Gran Syrte su Marte, secondo le osservazioni di tre secoli . . . . . » 145
La grande Cometa del 1843 . . . . . » 214
Aspetto piramidale della luce zodiacale . . » 283
Macchie, facole e protuberanze del Sole . » 294
Granulazione della superficie solare . . . » 301
Fotografie di varie parti della Via Lattea . » 394
Circolo meridiano dell'Osservatorio di Strasburgo . . . . . » 452
Equatoriale di 32 pollici d'apertura dell'Osservatorio di Pulkowa presso Pietroburgo » 462
Osservatorio dell'Università *Kaiser Willhelm* in Strasburgo . . . . . » 480

Carte in colore.

Carta delle montagne della Luna . . *Pag.* 92
Carta del pianeta Marte . . . . . » 144
Carta del Cielo stellato settentrionale fino a 25° di declinazione Nord . . . . . » 333
Carta del Cielo stellato meridionale fino a 25° di declinazione Sud . . . . . » »
Carta della zona equatoriale del Firmamento stellato, compresa fra i paralleli di 32° di declinazione Nord e Sud . . . » »
Nebulosa nelle Pleiadi . . . . . » 372
La Via Lattea settentrionale . . . . . » 391
Distribuzione delle nebulose ed ammassi stellari sull'emisfero celeste settentrionale . » 402
Distribuzione delle nebulose ed ammassi stellari sull'emisfero celeste meridionale . » »
Carta della rete trigonometr. german. (in nero). » 488
Carta dimostrativa della triangolazione di primo dell'Italia continentale ed insulare . » »
Sistema Planetario . . . . . » 638

Incisioni intercalate nel testo.

1. Festa della nuova luna a Karagwa *Pag.* 6
2. Giovanni Keplero . . . . . » 9
3. Propagazione della luce nello spazio . » 20
4. Riflessione della luce sugli specchi piani » 21
5. Cammino della luce in uno specchio concavo 22
6. Cammino della luce in un telescopio a riflessione . . . . . » 24
7. Telescopio gigante di Herschel in Bath » 25
8. Telescopio Leviathan di Lord Rosse al castello di Birr a Parsonstown (Irlanda) » 26
9. Aberrazione di sfericità e deviazione delle tinte in una lente . . . . . » 27
10. Grande cannocchiale di Evelio a Danzica » 28
11. Combinazione acromatica di lenti (obiettivo di cannocchiale) . . . . . » 30
12. Il refrattore di 40 pollici (centim. 101,6) dell'Osservatorio Yerkes presso Chicago » 32
13. Marte, secondo le osservazioni di Washington nel 1877 . . . . . » 35
14. Carta di Marte, eseguita da Schiaparelli nel 1877 . . . . . » 36

15. Osservatorio Lick sul monte Hamilton (California) durante l'inverno . . *Pag.* 37
16. L'Osservatorio sull'Etna . . . . » 38
17. L'Osservatorio sul Monte Bianco . . » 39
18. Illusione ottica prodotta dall'irradiazione » 40
19. Anelli di interferenza . . . . . » 41
20. I dintorni di ε in Orione . . . . » 48
21. Levata fotografica dei dintorni del polo celeste settentrionale, di W. Prinz in Bruxelles . . . . . » 50
22. Refrattore fotografico dell'Osservatorio di Potsdam . . . . . » 51
23. Il pianeta Giove, fotografato all'Osservatorio Harward a Cambridge (N. A.) . . » 53
24. Fotografia di una porzione di superficie solare . . . . . » 55
25, 26. Antichi disegni della corona solare . » 57
27. Fotografia della corona solare . . . » 59
28. Nebulosa ultra-violetta nella costellazione del Cigno, scoperta fotograficamente da Max Wolf in Heidelberg . . . . » 60
29. Astrofotometro di Zöllner, dell'Osservatorio astrofisico di Potsdam . . . . » 63
30. Dispersione dei colori della luce bianca attraverso ad un prisma . . . . » 67
31. Prisma a visione diretta . . . . . » »
32. Spettroscopio . . . . . » 68
33. Schema a spiegazione delle onde permanenti . . . . . » 70
34. Spettrometro dell'Osservatorio astrofisico di Potsdam . . . . . » 78
35. Spettrografo dell'Osservatorio astrofisico di Potsdam . . . . . » 84
36. Causa delle fasi della Luna . . . . » 89
37, 38. Il cratere lunare Arzachel . . . . » 91
39. Determinazione dell'altezza delle montagne lunari . . . . . » 93
40. Carta lunare di Fontana, nell'anno 1630 » 94
41. Carta lunare di Evelio, nell'anno 1645 » 95
42. Aspetto della luna piena, secondo Evelio » 96
43. Il circo montagnoso Tolomeo . . . » 98
44, 45. Il circo montagnoso Plato . . . . » 99
46. Il cratere Plato col sole levante . . » »
47. Il cratere lunare Copernico, ingrandito 14 volte . . . . . » 100
48. Sezione V della grande carta lunare di Lohrmann . . . . . » 101
49. Sezione XXIII della grande carta lunare di Lohrmann . . . . . » 102
50. Il cratere lunare Tycho e dintorni . . » 104
51. Gli Apennini lunari secondo Schröter . » 106
52. L'isola di Corsica veduta a volo d'uccello, illuminata obliquamente dal Sole . » 107
53. I solchi di Hyginus ed il sistema di solchi di Triesnecker . . . . . » 108
54. I crateri lunari Aristarco ed Erodoto . » 109
55. Il Canon del fiume Colorado nell'America del Nord, come contrapposto terrestre delle formazioni a solchi della Luna *Pag.* 110
56. La valle Yosemithe, intesa come solco lunare . . . . . » 112
57. Luna piena con raggi. — Sfera di vetro spaccata artificialmente . . . . . » »
58. Piccolo nuovo cratere Hyginus N . . » 113
59. Fasi e relazioni di grandezza di Mercurio » 121
60. Mercurio, disegnato da Schiaparelli in Milano . . . . . » 125
61. Fasi e rapporti di grandezza di Venere » 127
62. Uscita di Venere dal disco solare, nel passaggio di Venere dell'anno 1882, secondo Vogel . . . . . » 128
63. Carta di Venere, secondo le osservazioni di L. Niesten in Bruxelles . . . » 130
64. Macchie chiare al polo Sud di Venere, secondo Schiaparelli . . . . . » 131
65. Rapporti di grandezza di Marte nelle sue posizioni estreme . . . . . » 134
66. Rapporti di grandezza della Terra con Marte, Mercurio e la Luna . . . . . » 136
67. Primo disegno conosciuto di Marte colle sue macchie polari dovuto a Maraldi (1704) » 139
68. G. Schiaparelli . . . . . » 140
69. Posizione della macchia polare Sud sopra Marte nell'anno 1877, disegnata da G. Schiaparelli . . . . . » 141
70. Vedute polari di Marte durante l'opposizione del 1879, disegnate da G. Schiaparelli » »
71. La macchia polare sud di Marte, disegnata da Douglass il 5 ottobre 1894 . . » 142
72. Disegni di Marte, eseguiti da Schröter, con una massa di nubi moventesi ipoteticamente con rapidità . . . . . » 143
73. Striscie chiare vedute da Schiaparelli sull'emisfero settentrionale di Marte al principio del 1882 . . . . . » 144
74. Regione Esperia su Marte, disegnata nel 1894 da Lowell . . . . . » 148
75. Canali sul pianeta Marte ad occidente del Nylo Syrtus, disegnati da G. Schiaparelli negli anni 1883-84 . . . . . » 150
76. Canali del pianeta Marte, la stessa regione della fig. 72, disegnata da Schiaparelli nel 1886 . . . . . » 151
77. Linee di costa parallele dei continenti terrestri; secondo W. Prinz . . . » 154
78. Il Nilo geminato su Marte, attraversato da una striscia bianca; disegnato da G. Schiaparelli (1879-80) . . . . . » 157
79. Linea del terminatore di Marte . . . » 160
80. Punti lucenti nelle vicinanze della calotta polare sud di Marte . . . . . » 161
81. L'Y sulla calotta polare sud di Marte . » »
82. Il Planetoide (329) Svea scoperto fotograficamente da Max Wolf in Heidelberg » 166
83. Asteroide (422) Berolina, scoperto fotograficamente nella costellazione dei Pesci da G. Witt . . . . . » 169

84. Giove, disegnato da Keeler all'Osservatorio Lick il 10 luglio 1889 . . . *Pag.* 172
85. Giove, disegnato da Keeler all'Osservatorio Lick il 15 luglio 1889 . . . » 173
86. Spettro di Giove, secondo H. C. Vogel » 174
87. Rappresentazione schematica delle zone e bande di Giove . . . . . » 175
88. La macchia rossa di Giove . . . . . » 178
89. Il vulcano Kilauea col Lago di fuoco, nelle Isole Hawaj . . . . . » 179
90. Posizioni dei quattro grandi satelliti di Giove per l'epoca dal 6 al 21 febbraio 1896 » 182
91. Fenomeni singolari osservati sul primo satellite di Giove . . . . . » 183
92. Disegni del terzo satellite di Giove . . » 186
93. Disegni di Saturno col suo anello, dalle prime osservazioni telescopiche . . » 187
94. Aspetto di Saturno nelle sue posizioni estreme . . . . . » 188
95. Disegno dell'anello di Saturno e delle divisioni . . . . . » 189
96. Saturno, alcuni mesi prima e dopo la scomparsa dell'anello . . . . . » 190
97. Saturno colla riga di Iapis . . . . . » 191
98. Divisioni finissime nel sistema degli anelli di Saturno . . . . . » »
99. Supposta forma della sezione dell'anello di Saturno . . . . . » 192
100. Posizione delle linee di assorbimento nello spettro di Saturno e del suo anello » 193
101. Veduta dell'anello di Saturno da un punto della superficie del pianeta, sotto circa 70 gradi di latitudine saturnografica » 195
102. Veduta dell'anello di Saturno da un punto della superficie del pianeta, sotto circa 50 gradi di latitudine saturnografica » »
103. Costruzione prospettica della veduta dell'anello di Saturno per due punti diversi della superficie del medesimo . . » 196
104. Passaggio di Titano davanti a Saturno » 199
105. Spettro di Urano fotografato da Keeler nell'Osservatorio Lick . . . . . » 202
106. Urano, secondo C. S. Holden . . . » 203
107. Grandezza apparente di Urano nelle sue posizioni estreme . . . . . » 203
108. Disegni di Comete tolti dalla « Cometografia » di Evelio . . . . . » 210
109. Prima fotografia di una cometa . . . » 212
110. Corso apparente e lunghezze della coda della grande Cometa del 1881 . . » 213
111. La Cometa di Donati, veduta ad occhio nudo . . . . . » 214
112. Cometa a cinque code del 1744 . . . » 215
113. « Cercatore di comete » di Repsold . » 216
114. Orlata di una Cometa invisibile . . . » 219
115. Oggetto di natura cometica, scoperto da Holden . . . . . » 220
116. La Cometa di Holmes, presso la grande nebulosa d'Andromeda . . . . . » 221
117. Cometa Gale, fotografata da Barnard » 222
118. Corso apparente della grande Cometa del settembre 1882, nelle vicinanze del suo perielio . . . . . *Pag.* 226
119. Ellisse, parabola, iperbole . . . . » 231
120. La famiglia delle comete di Giove . » 242
121. Posizioni delle orbite della Terra, della cometa di Biela e della cometa di Encke » 247
122. Meteora veduta nella California il 27 luglio 1894 . . . . . » 251
123. Un meteorite della caduta di Pultusk » 253
124. Meteora osservata da Schmidt in Atene il 19 ottobre 1863 . . . . . » »
125. Meteorite di Butsura . . . . . » 259
126. Ferro meteorico di Hraschina . . . » 261
127. Meteorite di Stannern . . . . . » 262
128. Figure di Widmannstätten nei ferri meteorici . . . . . » 265
129. Movimento della Terra in uno sciame di stelle cadenti . . . . . » 267
130. Percorsi di meteore osservate il 9, 10 ed 11 agosto 1894 da A. L. Coltou . » 270
131. Grande macchia solare del febbraio 1894 » 295
132. Macchie solari . . . . . » 296
133. Macchia solare dell'agosto 1894 . . » 297
134. Gruppo di macchie solari del febbr. 1892 » 298
135. Macchie solari . . . . . » 299
136. Eruzione solare, fotografata il 15 luglio 1892 da G. Hale . . . . . » 303
137. Protuberanza eruttiva, fotografata all'Osservatorio Kenwood in Chicago . » 306
138. Curve della frequenza delle macchie solari di R. Wolf . . . . . » 308
139. Distribuzione delle macchie solari . » 309
140. Curve dell'attività solare e delle deviazioni dell'ago magnetico, secondo R. Wolf » 310
141. Curve dell'uragano magnetico del febbraio 1892 . . . . . » 312
142. Parte dello spettro solare di Thollon, presso la linea doppia del *natrium* (Na) (Sodio) . . . . . » 315
143. Gruppi di linee di assorbimento atmosferiche presso la linea *A* di Fraunhofer » 316
144. Linee *D*, nello spettro di una macchia solare . . . . . » 321
145. Corona artificiale, prodotta da Pupin con scariche elettriche . . . . . » 325
146. Disposizione dell'apparecchio per un esperimento della produzione artificiale di una corona di raggi eseguito da Pupin » 326
147. Disposizione dei filamenti di limatura di ferro attorno al polo di una calamita (Linee di forza) . . . . . » 327
148. Piccola carta che mostra la posizione di ζ ed ε *Ursae majoris*, quali appaiono all'occhio nudo . . . . . » 336
149. Le 120 stelle del Catalogo della Società Astronomica fra ζ e ε *Ursae majoris* » 337
150. Fenomeni di difrazione . . . . . » 341
151. Le Pleiadi, vedute in cannocchiali di debole ingrandimento . . . . . » 343

152. Nebulose disegnate da vari osservatori *Pag.* 355
153. Il cinto (α) e la nebulosa d'Orione . » 364
154. Ritievo fotografico della nebulosa d'Orione » 365
155. Disegno della nebulosa d'Orione . » 366
156. Spettro della nebulosa d'Orione e delle stelle del Trapezio . . . » 369
157. Nebulosa a spirale che circonda la nebulosa d'Orione . . . . » 370
158. Forme nebulari che circondano il gruppo delle Pleiadi . . . . . » 372
159. La grande Nube del Capo . . . . » 373
160. La piccola Nube del Capo . . . . » 374
161. La nebulosa 74 di Messier nei Pesci. » 376
162. Nebulosa 65 di Messier . . . . » 377
163. Nebulosa d'Andromeda . . . . » 378
164. La nebulosa d'Andromeda colla cometa di Holmes . . . . . » 379
165. Diverse proiezioni di un filo a spirale » 380
166. La nebulosa ad anello nella Lira . . » 381
167. Ammasso stellare nell'Acquario . . » 383
168. Ammasso stellare nella Bilancia . . » 384
169. Ammasso stellare in Ercole, secondo Scheiner . . . . . » 385
170. Ammasso stellare in Ercole sec. altri » 386
171. Ammasso stellare nei Gemelli . . » 387
172. Il doppio ammasso stellare in Perseo » »
173. Ellisse con raggi . . . . . » 393
174. Rilievo fotografico della Via Lattea nelle vicinanze della stella ε del Cigno . » 395
175. Rilievo fotografico della Via Lattea nelle vicinanze della stella 15 del Liocorno » 396
176. Parte della Via Lattea Meridionale . » 397
177. Rilievo fotografico della regione della Via Lattea presso α Cigni unitamente alla grande nebulosa americana . . » 400
178. 1) Linee di uguale intensità di luce nella Via Lattea nel Cigno; 2) Numeri relativi di Plassmann per la frequenza delle stelle nella stessa regione del Cigno » 401
179. Disegno schematico dell'anello della Via Lattea, secondo Proktor . . . » 403
180. Mizar quale stella doppia con Alcor . » 410
181. La stella tripla γ Andromedae . . » »
182. La stella doppia 61 del Cigno . . » 411
183. La stella tripla ε nel Piccolo Cavallo . » »
184. Il sistema triplo ζ nel Cancro . . . » 413
185. La stella sestupla θ¹ Orionis . . . » 414
186. ε della Lira come stella quadrupla . » 415
187. Il sistema di Algol, secondo H. C. Vogel » 425
188. Curve della luce di stelle variabili . » 429
189. Curva luminosa della « variabile » o (omicron) Ceti (Mira) . . . . . » 432
190. Spiegazione delle « variabili » del tipo di Mira, a mezzo di sciami di meteoriti » 434
191. Posizione della stella di Tycho del 1572 » 436
192. La Nebulosa d'Andromeda colla nuova stella (n) del 1885, secondo A. Riccò » 440
193. Cartina estratta dalla *Durchmusterung* di Bonne. . . . . » 441
194. Dintorni della *Nova Aurigae* del 1892 » »
195. Carta per rendere manifesta la posizione della *Nova Orionis* . . . . *Pag.* 442
196. La nuova stella (n) in Orione, del 1885, coi suoi dintorni . . . . » »
197. Curva dello splendore della nuova stella dell'Auriga del 1891-92 . . . » 443
198. Spettro della nuova stella nell'Auriga » 444
199. Osservatorio milanese . . . . » 450
200. Tycho Brahe coi suoi assistenti, sta osservando al quadrante murale . . » 451
201. Altazimut dell'Osservatorio di Ginevra » 460
202. I sistemi di coordinate celesti . . . » 462
203. Estremo oculare del refrattore di 36 pollici dell'Osservatorio Lick . . . » 466
204. Refrattore di 10 pollici dell'Osservatorio di Ginevra . . . . . » 468
205. Eliometro di Repsold . . . . . » 471
206. Spaccato dell'Osservatorio di Vienna » 476
207. Pianta dell'Osservatorio di Vienna . » 477
208. Facciata principale dell'Osservatorio di Vienna . . . . . » 478
209. Osservatorio di Nizza . . . . . » 479
210. Determinazione della latitudine di un luogo d'osservazione . . . . . » 481
211. Posizione dell'arco diurno degli astri, lungo l'equatore terrestre . . . . » 482
212. Posizione degli archi diurni degli astri sotto una latitudine compresa tra il polo e l'equatore . . . . . » »
213. Posizione dell'arco diurno degli astri ad uno dei poli terrestri . . . . » 483
214. La depressione dell'orizzonte . . . » »
215. Costituzione di una stanga di misura, in rappresentazione schematica . . » 491
216. Misura di base sotto una tettoia . . » 492
217. Federico Guglielmo Bessel . . . . » 496
218. Esperimento di Foucault, col pendolo, nel Pantheon in Parigi . . . . . » 500
219. Deviazione della direzione di caduta dalla verticale . . . . . » 501
220. Apparecchio pendolare di Sterneck per la misura della gravità terrestre . . » 505
221. Linee di eguale intensità della gravità secondo le misure del pendolo . » 507
222. Deviazione della verticale sferoidica da quella sferica . . . . . » 508
223. Deviazione del filo a piombo prodotta da una montagna . . . . . » 509
224. Andamento del geoide dal mare alla terra ferma . . . . . » 510
225. Sezione della crosta terrestre lungo il 30° parallelo . . . . . » 512
226. Effetto della rifrazione atmosferica . » 515
227. Curve delle variazioni della latitudine in Berlino, Praga, Strasburgo, Honolulu » 520
228. Variaz. della latitudine dal 1891 al 1894 » 521
229. Osservatorio di Greenwich . . . . » 541
230. Movimento del polo celeste attorno al polo dell'eclittica prodotto dalla precessione . . . . . » 553

231. Variazione apparente della posizione della stella a Orionis . . . *Pag.* 554
232. Moto apparente del sito di « *Virginis* » durante l'anno 1897 . . . » 557
233. Seeing e riflessione . . . . . » 558
234. Passaggio tropicale col disco della Luna disposto verticalmente . . . » 562
235. Immagine della Luna crescente in un cannocchiale che rovescia le immagini » 563
236. Immagine della Luna calante in un cannocchiale che rovescia le immagini » 564
237. Effetto della parallasse per la Luna . » 567
238. Triangolo: Sole – Terra – Luna . . » 568
239. Fasi di un'eclisse lunare e di una lunazione . . . . . » 575
240. Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887 in vicinanza della Kalkhäuser . . » 578
241. Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887 che sorge a Berlino . . . . » »
242. Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887 che sorge a Colonia . . . . » 579
243. Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887 massima fase in Kiel . . . . » »
244. Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887 massima fase in Vienna . . . » 580
245. Percorso dell'ombra della Luna durante l'eclisse solare del 19 agosto 1887 » 581
246. Ombre volanti durante eclissi solari . » 582
247. Posizioni della Luna ed ombra terrestre in due eclissi di Luna . . . . » 583
248. Determinazione del diametro dell'ombra terrestre alla distanza della Luna . » 586
249. Limiti dell'eclisse solare . . . . » 587
250. Percorso dell'ombra lunare sulla superficie terrestre . . . . . » 589
251. Posizione delle curve di centralità delle eclissi marzo 1877 e gennaio 1898 » 591
252. Zona centrale corretta di antiche eclissi solari . . . . . » 594
253. Transito di Mercurio del 7 maggio 1878 » 598
254. Osservazione di un passaggio di Venere » 600
255. Venere davanti al disco solare . . . » 601
256. Movimento apparente di Mercurio . . » 606
257. Movimento apparente di Venere . . . » 607
258. Movimento apparente di Marte . . . » »
259. Movimento apparente di Giove . . . » 608
260. Movimento apparente di Saturno . . » »
261. Spiegazione del movimento vario del Sole secondo Ipparco . . . . . » 612
262. Meccanismo di movimento cogli epicicli, secondo Tolomeo . . . . . » 613
263. Movimento di Marte, secondo Tolomeo » »
264. Moto effettivo di Marte rispetto alla Terra supposta ferma . . . . . » 614
265. Nicolò Copernico . . . . . » 619
266. Movimento di Marte e della Terra, secondo Copernico . . . . . » 620
267. Movimento dell'asse terrestre, secondo Copernico, e sua posizione effettiva *Pag.* 620
268. Misure delle distanze e degli angoli, fra la Terra, il Sole ed un pianeta . . » 628
269. Ellisse di Keplero . . . . . » 630
270. Isacco Newton . . . . . » 631
271. Movimento di un corpo lanciato orizzontalmente . . . . . » 633
272. Innalzamento di un corpo lanciato orizzontalmente, al di sopra della superficie terrestre . . . . . » »
273. Il flusso ed il riflusso prodotto dall'attrazione lunare . . . . . » 642
274. Dimostrazione del valore generale, detta seconda legge di Keplero, nei movimenti centrali . . . . . » 644
» » 645
275. Sezioni coniche . . . . . » 653
276. Carlo Federico Gauss . . . . . » 654
277. Pierre Simon Laplace . . . . . » »
278. Movimento di una sfera d'acciaio sotto l'azione di due calamite . . . » 655
» » 667
279. L'orbita della stella doppia ξ *Ursae maj.* » »
280. Fluttuazioni periodiche del movimento proprio di Sirio . . . . . » 668
» » 678
281. Galileo Galilei . . . . . » 689
282. La costellazione della Grande Orsa . » »
283. Movimento proprio, in cento anni, osservato, delle 10 stelle fisse che si muovono più rapidamente . . . . . » 691
284. Movimento proprio relativo, in cento anni, delle 10 più lucide stelle del Cielo » »
285. F. Guglielmo Herschel . . . . . » 696
286. Forma delle orbite dei due più interni satelliti di Giove, rispetto al Sole supposto fermo . . . . . » 698
287. Orbita della Luna riferita al centro del Sole » »
288. Cratere lunare artificiale, secondo Ebert » 719
289. Osservatorio di Brera in Milano . . » 736
290. Quadrante murale di Ramsdens . . . » 738
291. Cerchio meridiano di Starke . . . . » 739
292. Refrattore equatoriale di 8 pollici . » » »
293. Il grande Refrattore . . . . . » 740
294. Osservatorio dell'Università di Padova » 744
295. Osservatorio astronomico della R. Università di Torino . . . . . » 747
296. Osservatorio di Arcetri (Firenze) . . » 749
297. Osservatorio di Colluranna . . . . . » 750
298. Colluranna — Specola visuale . . . » 751
299. Pianta dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte . . . . . » 757
300. Osservatorio di Capodimonte . . . » 758
301. Cerchio meridiano di Repsold a Capodimonte . . . . . » 766
302. Osservatorio Meteorologico ed Astronomico di Catania . . . . . » 769
303. Osservatorio Etneo e cratere centrale » 770
304. Equatoriale fotografico . . . . . » 771

L'UNIVERSO STELLATO

INTRODUZIONE

1. — MATERIA ED IMPORTANZA DELL'ASTRONOMIA

Prima di Copernico, nell'Europa civilizzata ben poche menti superiori avevano pensato alle relazioni fra il nostro mondo terrestre e gli astri, od almeno non più, da che dopo la fioritura della civiltà egiziana e greca, l'adorazione degli astri, od anche il loro impiego nello stabilire in precedenza le feste religiose, non apparteneva più al culto nazionale.

Nei primitivi stadi dello sviluppo dello spirito umano e anche oggi nei popoli *selvaggi* rimasti spiritualmente addietro, gli astri rappresentarono e rappresentano tuttora una parte importantissima. Sta il fatto, che un Boschimano, una ben misera creatura che non è capace di fabbricarsi una capanna, si riconosce e ritrova fra le stelle, assai meglio che non centinaia e migliaia di colti abitatori delle grandi città. I Boschimani hanno nomi particolari per certe costellazioni, e sanno distinguere i pianeti dalle stelle fisse e così via. Probabilmente la causa prima dell'interessamento dei popoli primitivi al mondo delle stelle fu la permanenza continua all'aperto, e l'orientarsi rispetto al tempo ed alla direzione, mentre gli abitanti delle grandi città, sopra le fila delle alte mura delle vie non vedono che un meschino lembo di cielo, le cui stelle appena possono coi raggi attraversare l'atmosfera polverosa, se pur non scompaiono intieramente nell'oceano luminoso delle vie. *Il mondo* oggidì non sa *dei mondi* quasi che per *averne sentito dire*: quello stesso mondo che già prima commoveva profondamente gli uomini nell'interno dell'anima, come solo sempre il pensiero dell'altissimo potere commuove.

E come si credeva allora, quando ancora si identificavano le stelle colla divinità, così anche oggi, quelle potenze, che irradiando dagli astri reggono i mondi dell'universo, hanno nel nostro destino un'influenza profondissima. Ma come lo spensierato non riconosce l'influenza degli organi superiori del governo dello Stato, perchè egli non la sente immediatamente, per opposizione alle insignificanti ma visibili azioni del potere esecutivo; così agli occhi della cieca umanità sfuggono le manifestazioni supremamente maestose di quelle leggi celesti, che tutti ne proteggono, avvolgono e colmano di benefizi.

Lo stesso Sole, la cui vivificante potenza salta così immediatamente agli occhi, vien scordato dal cittadino, sebbene egli, da lungo tempo inconscio, regoli ogni suo atto secondo il ritmo maestoso del giorno e della notte, dell'inverno e dell'estate,

che l'astro del giorno conduce. Anche le relazioni fra la posizione del Sole ed i dati del suo orologio diventano ognor più complicate. Come diversamente procedeva la bisogna, quando ancora, per sapere l'ora bisognava guardare al Sole stesso, e ciascuno doveva essere il suo proprio astronomo! Solamente il contadino guarda talvolta con grato animo ancora verso il munifico elargitore di tutte le gioie, delle quali noi spensierati abitatori della terra siamo fatti partecipi.

Ma come mai può essersi verificato, che l'interessamento per le cose celesti, sia nel corso dei secoli andato soggetto ad oscillazioni così grandi? La discussione di questa questione diviene importante, quando si voglia ben chiarire, se oggi ancora lo studio dell'Astronomia abbia ancora generalmente un così alto valore come quando la religione e la vita pratica ci avevano messo quasi a contatto cogli astri. Ad un tal scopo seguitiamo in rapida corsa le idee che collegarono l'umanità cogli astri nelle diverse fasi del suo sviluppo.

È facile ad intendere, come gli uomini siano giunti ad adorar gli astri quali divinità. Era troppo manifesto, che sugli avvenimenti terrestri agiscono potenze invisibili, la cui origine sta sopra il mondo terrestre; ma contemporaneamente si riconobbe che il Sole e gli altri astri erano cose ultraterrestri, inafferrabili e probabilmente senza esistenza. Esse divennero così qualche cosa posta sopra l'uomo, la sua divinità. La molteplice dipendenza degli avvenimenti che si svolgono lassù in cielo, e che nessuna potenza umana valeva a stornare, dirigere od a condurre a noi, insegnò agli uomini a sentire timore e gratitudine verso la loro divinità.

Ed il Sole doveva in ciò necessariamente avere il primo posto. Tutto che l'uomo barbaro constatava ed intraprendeva nella sua impotenza era dominato dal Sole; questo lo svegliava al mattino, ed aprendogli le porte del suo antro gli permetteva di uscire all'aperto, alla caccia della preda; e quando l'uomo alla sera si riposava dal suo lavoro giornaliero, le sue membra si piegavano e la paura lo ricacciava nel suo antro dinanzi alla malfida possanza delle tenebre.

E quando l'uomo, sdraiato colla famiglia attorno al fuoco, quel pallido riflesso della piena luce del giorno, illuminato dai primi bagliori crepuscolari dell'intelligenza, cominciò a riflettere intorno al come tutte quelle cose potevano avvenire, e se quegli esseri celesti fossero simili agli uomini e mortali, allora germogliarono i semi primi dei problemi, la soluzione dei quali occuperà eternamente la umanità. Quello che si pensasse degli astri, in quei primordi remoti dell'umanità, lontani da noi forse cinquanta migliaia d'anni, e dei quali nessuna traccia di tradizione storica ci pervenne, puossi con qualche probabilità arguire dalle opinioni e credenze dei popoli ancora allo stato di natura del tempo presente.

Così nell'" Etnologia „ di Ratzel si legge quanto segue dei Boschimani, i quali possono venir ritenuti come le più misere creature fra gli attuali abitatori della Terra: taluni loro miti, taluna loro leggenda non solo, ma altresì la loro propria conoscenza delle stelle ed i nomi dati a queste attestano di una buona osservazione di quanto avviene sulla volta celeste. Da quelle tolgo la storia del Sole, che viveva sulla Terra come un uomo e che irradiava luce dall'ascella, così che tornava utile solo ad un piccolo spazio intorno alla capanna, per il che i primi Boschimani mandarono alcuni fanciulli, affinchè lo lanciassero in cielo, donde d'allora in poi risplende per tutti. La Luna, che anche presso i Boschimani è di genere maschile, è riguardata come un uomo, che il Sole nella sua collera va con

un coltello (i suoi raggi) tagliando pezzo a pezzo, finchè pregato di lasciarne un pezzettino pei suoi figli, v'acconsente; e questo pezzettino cresce di nuovo fino a divenir luna piena, che viene di nuovo tagliata dal Sole. Colla Luna viene collegata l'origine della morte „.

Ciò appare ancora più evidente in una analoga leggenda dei Fijani; la quale così è narrata. " Due dei, la Luna ed il topo, si disputavano per sapere, se gli uomini dovessero essere mortali, come la Luna, cioè morire per risorgere poi, ovvero come il topo, cioè morire semplicemente, senza risorgere. Vinse il topo, e perciò gli uomini sono mortali „. Presso gli Ottentoti, la Luna fa dal suo messaggero, il lepre, dire agli uomini, che essi al pari di lei debbono morire e poi risorgere. Il lepre riferisce il messaggio nel senso opposto, per cui la Luna gli scaglia addosso un bastoncino, che gli fende il labbro superiore „. Fra tutte le stelle, la più nota presso i Boschimani è Canopo; essi la designano con ben cinque differenti nomi, ed hanno anche nomi raffigurativi per i gruppi di stelle. Così il Cinto d'Orione vien detto da loro: tartaruga femmina appesa ad una stanga; Castore e Polluce son chiamati: alci femmine; Procione ha nome alce maschio; α, β, γ della Croce del Sud si chiamano le lionesse; le altre stelle della stessa costellazione, leoni; le nubi di Magellano: capricorno. Sulle origini delle stelle corre questa leggenda. Una fanciulla, di un popolo anteriore ai Boschimani, voleva far lume affinchè la gente potesse trovar la strada per andare a casa, e perciò scagliò verso il cielo della cenere incandescente, che si convertì in stelle.

Dai popoli dimoranti presso i laghi che dànno origine al Nilo si racconta questa fiaba interessante. " In tempi antichissimi „, dicono i Wanyoro, " gli uomini erano troppi sulla Terra. Essi non morivano mai, ma vivevano eternamente. Ma essendo essi divenuti superbi, e non offrendo più doni, il grande incantatore, che regola il destino degli uomini, s'adirò, scaraventò sulla Terra l'intiera volta celeste e li uccise tutti. Ma per impedire che la Terra divenisse deserta, il gran mago vi mandò dal cielo un uomo ed una donna. Entrambi avevano la coda. Essi generarono un figlio e due figlie; i quali ebbero fra loro commercio. Una partorì un animale schifoso, il camaleonte, l'altra un gigante, la Luna. I due fanciulli crebbero; ma ben presto nacquero fra loro delle dispute, perchè il camaleonte era cattivo e malizioso, e finalmente il gran mago portò la Luna in cielo, di dove ancora oggi guarda la Terra. Tuttavia per non dimenticare la sua origine terrena, essa diviene grossa e splendente, per diminuire poi, quasi come se morisse, ma non muore, bensì in due giorni gira intorno all'orizzonte da Est verso Ovest, e riappare sull'orizzonte occidentale, piccola e stanca pel viaggio. Ma il Sole si adirò così vivacemente contro il suo nuovo concorrente, e lo bruciò così fortemente, che ancora se ne scorgono le macchie sul suo volto. Il camaleonte e la sua razza popolarono la Terra, le code andarono perdute, ed il pallido colore della pelle divenne presto scuro per l'azione del Sole cocente. Anche oggi le sfere celesti sono abitate da gente che hanno la coda e molte greggie. Le stelle sono guardie che il gran mago mette nella notte. Finalmente il Sole è abitato da gente gigantesca. Quando una sera Emin bey s'informò del nome di Venere, che incidissima splendeva in cielo, i Wanyoro gli risposero: Amante della Luna „.

D'altronde ovunque ci volgiamo sulla terra, presso i popoli ancora allo stato naturale, noi c'imbattiamo nel culto del Sole e degli astri, cui si collegano intimamente

questioni e leggende sulla creazione del mondo, sulla morte e sul destino degli nomini trapassati. Nulla si può dare di più interessante, che il tener qui dietro al modo col quale in questi ingenui sentimenti si rispecchi la grande immagine del mondo, la cui meravigliosa costruzione noi dovremo esaminare nel presente lavoro, così come la rappresenta il progredito sapere dell'umanità. Crediamo utile il riferire ancora due leggende di due popoli diversi. Ratzel scrive degli Indiani dell'America settentrionale: " I tre elementi della creazione, Terra, Acqua e Fuoco, emergono come salde fondamenta. L'acqua è l'elemento preponderante,

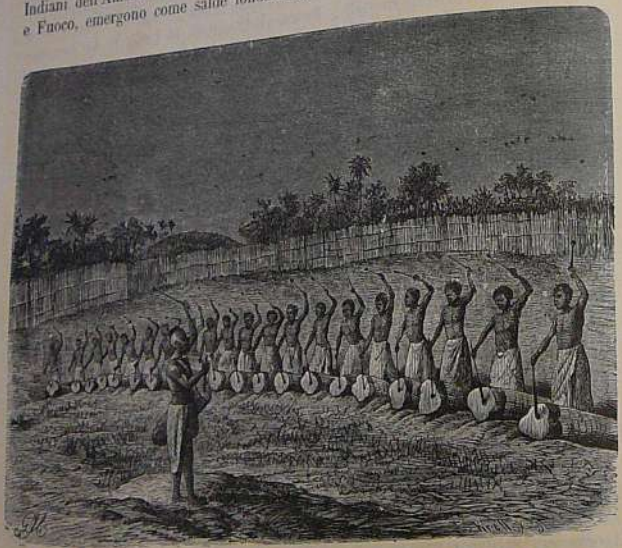


Fig. 1. — Festa della nuova luna a Karagwa, Africa centrale. Secondo Grant. Vedi testo p. 7.

la terra è solo un'isola in mezzo ad essa: il cielo ed il sole esistevano prima di entrambe, ed il sole porta dal cielo o col permesso del cielo il fuoco, giù sulla isola *Terra*. Ciò è ancora più chiaramente espresso dalla leggenda della creazione degli *Indiani lepri*. Il padre abita allo zenit, la madre al nadir, il figlio corre pel cielo qua e là fra i due. Un giorno in queste sue peregrinazioni egli notò la Terra. Egli tornò a suo padre, e così gli parlò: O padre mio che sei in alto, accendi, di grazia, il tuo fuoco celeste, perchè su questa piccola isola (la Terra) i miei fratelli sono già da lungo tempo infelici. Guardali, Padre mio, abbi pietà degli uomini! Pinart indica come dogma fondamentale delle credenze aleutine l'adorazione del Sole e della Luna, che sono sorella e fratello fra loro. Essi ardevano d'amore l'uno per l'altro, vennero separati, e d'allora in poi si cercano sempre. Malina (il Sole) fu seguita da suo fratello Aminga, e gli tinse di nero il viso, per scorgerlo anche

PAESAGGIO DURANTE UN'ECLISSE SOLARE

Composizione originale di W. Kranz.

di giorno. Tale è l'origine delle macchie della Luna, la quale ancora oggi gira attorno al Sole, sforzandosi inutilmente di andargli vicino. Dopo l'ultimo quarto essa parte con una slitta cui sono attaccati quattro grossi cani per la caccia del cane marino e se ne torna ben nutrita. Molte stelle hanno importanza mitologica. La stella del mattino e quella della sera risplendono all'incantatore Noaide, quando la sua anima s'avvia al mondo inferiore. Secondo Schiefner, i Kenai vedono il loro padre in una stella della Grande Orsa. I Groelandesi chiamano *Renna* la Grande Orsa; le Pleiadi sono un orso per loro, che viene cacciato dai cani, i Gemelli sono lo sterno del cielo e nel Cinto d'Orione sono cacciatori di cani marini, che furono trasportati in cielo, perchè essi non tornavano più a casa dalla caccia. Gli Eschimesi dividono il cielo in cinque regioni. Ogni uomo muore cinque volte, e cinque volte nasce, e solamente quando muore per la quinta volta, egli abbandona per sempre la Terra, per assurgere ad un'altra esistenza o nel Sole o nella Luna o nella luce polare „.

Da opinioni così infantili, che noi pure oggi riscontriamo presso i popoli ancora allo stato di natura, si sono senza dubbio sviluppati i primi germi del sapere astronomico, il quale a quel tempo ed ancora nell'antichità storica, era strettamente collegato colla religione, il culto e la chiesa. Ed anche oggi la nostra Chiesa cristiana non può sussistere senza l'aiuto della astronomia, giacchè come è noto, seguendo un antichissimo uso pagano, le principali feste religiose sono fissate a seconda delle posizioni del Sole e della Luna.

Ma col perfezionarsi del concetto della divinità e quando si collocò, sopra le stelle, un Dio invisibile queste rimasero pur sempre i suoi aiutanti, i suoi ministri. Ma tuttavia apparve manifestamente ancora molto importante, il tener dietro ai movimenti ed alla gesta di queste grandi potenze celesti, segnatamente dacchè si era avvertito con terrore, che anche questi potevano essere perseguitati da elementi avversi che minacciavano di divorare i benefattori del genere umano: negli ecclissi di sole e luna (vedi tavola), un mostro invisibile rosicchiava i santi astri: e solamente era possibile scacciarlo o con preci, o con il fracasso più fragoroso, che tutti i popoli fino ai tempi civili ritennero necessario in tali ricorrenze (vedi Fig. 1). Sacerdoti istruiti, che stavano in relazione diretta cogli dei, a mezzo di osservazioni durante secoli, avevano imparato a predire quei temuti avvenimenti; essi con ciò innalzavano grandemente il loro prestigio presso il popolo, e la scienza astronomica fu perciò sempre più diligentemente coltivata da quella casta sapiente.

Già molte migliaia d'anni prima del nostro computo del tempo, in China si era tanto progredito in questa predizione degli ecclissi, che gli astronomi di corte, nominati a tale scopo, venivano puniti di morte, quando un tale avvenimento accadeva senza essere stato annunziato. Gli Egizi costrussero le piramidi orientandole secondo i punti cardinali dell'orizzonte, ed un'apertura obliqua correva dall'esterno all'interno, siffattamente diretta, che la stella polare, che anche a quel tempo quasi di nulla mutava la sua posizione durante il moto diurno degli astri, risplendesse costantemente sulla tomba situata nel sacratissimo interno della gigantesca costruzione. Anche i templi dell'antichità greca furono così orientati che in un dato giorno di festa i primi raggi del sole nascente illuminassero il santuario interno. Ma poichè questa direzione in conseguenza di taluni lenti movimenti

dell'asse terrestre, la così detta precessione, dei quali dovremo discorrere diffusamente in seguito, è mutata, così dalla posizione di quei templi noi possiamo ricavare quella variazione nel corso dei secoli; così anche l'archeologia, al pari di molte altre scienze, viene in aiuto dell'astronomia.

Nell'Egitto agricoltore, ove il Nilo, ad una determinata epoca dell'anno, innonda, fecondando, le pianure, ogni coltivatore della terra utilizzava il cielo direttamente come un calendario.

Dal riapparire di certe stelle e costellazioni, egli deduceva la posizione del Sole nella sua apparente rivoluzione annua sulla volta celeste. Egli osservava quando una certa stella fissa, che per mesi era stata sul cielo diurno, e quindi invisibile, prima emergeva di fra i raggi del Sole, producendo il così detto sorgere eliaco della stella. Le costellazioni dello zodiaco ripetono la loro denominazione da tali osservazioni. Il contadino regolava in conseguenza i suoi lavori, così ad esempio quando il Sole entrava nella costellazione dell'Acquario era tempo di prepararsi alle imminenti innondazioni; quando il Sole entrava nella costellazione del Cancro, così si sapeva, poichè ora esso avrebbe camminato a ritroso come il granchio, che aveva raggiunto il suo culmine; se il Sole era penetrato fino alla costellazione della Bilancia, allora il giorno e la notte pesavano egualmente, l'autunno cominciava, finivano i lavori di campagna, e l'agricoltore misurava, computava l'abbondanza del suo raccolto, per venderlo. È noto che quei dodici segni dello zodiaco che originariamente erano in parte stati connessi coi lavori dei campi, non coincidono più colla posizione delle loro corrispondenti costellazioni. Anche qui la precessione, l'anticipare degli equinozi, ha spostato nel corso dei secoli notevolmente le costellazioni. Lo studio dei disegni egiziani dello zodiaco, incisi indelebimente nei monumenti di pietra, serve oggi ancora ad investigare le leggi che governano i corpi celesti.

I Greci ed i Romani presero dagli Egiziani le loro cognizioni astronomiche, ma le disposizioni intellettuali di questi popoli non erano adatte a procurare presso di loro una grande popolarità all'astronomia. L'organizzazione degli Stati che si faceva sempre più completa, e la tendenza dei sentimenti religiosi a concetti astratti della divinità, resero sempre più inutile per l'uomo privato l'osservazione diretta del cielo, segnatamente poi quando la determinazione dell'ora del giorno fu resa possibile dall'introduzione degli orologi ad acqua ed a sabbia.

Lo spirito dei Greci era segnatamente diretto all'uomo interno. Finchè l'uomo si sentì abbastanza felice, da poter dedurre da tutta l'anima una forma dell'ideale, che si poteva creare dal proprio interno, non provò il bisogno di osservare il mondo esterno. Pochi arditi pensatori di quel felice tempo, i quali avevano espresso opinioni mirabilmente chiare sulla costituzione dell'universo, come Aristarco in special modo, non poterono procacciar loro alcun generale riconoscimento. I Romani avevano da conquistare il mondo terreno, e non avevano tempo di occuparsi di quello celeste. Lo spirito di questo popolo era troppo rivolto alla politica.

Frattanto i Bisantini avevano conquistato Alessandria, e portarono seco verso l'Arabia anche i tesori scientifici che colà si erano accumulati. Qui i savi re di quel popolo cominciarono ad attendere all'astronomia. Sorsero ben forniti osservatori dello Stato, dai quali si seguivano con esattezza i movimenti, e si cercava di stabilire le leggi dei corpi celesti, i quali, sebbene non più dei, avevano pur

tuttavia conservato l'aureola di divini. Qui fu primamente e propriamente posta la base dell'Astronomia. Col tempo divenne essa la scienza per eccellenza, degna di venir promossa e coltivata dagli stessi sovrani.

Gli Arabi portarono l'Astronomia in occidente e qui, per contro, il sacerdozio s'impadroni principalmente di essa. La credenza nella santità degli astri svanì bensì, ma rimase salda l'antichissima persuasione della loro influenza sul destino degli uomini. Il mistero pur sempre impenetrabile degli avvenimenti celesti era dopo come prima, per i sacerdoti, uno dei mezzi più efficaci per agire sull'animo degli uomini. Da ciò si svolse e crebbe, disgraziatamente, l'interpretazione degli astri, l'astrologia, che signoreggiò tutto quanto il medio evo.

Sempre, pur troppo, la menzogna, l'ignoranza, l'assurdità hanno sulla maggioranza degli uomini un potere veramente diabolico, ma lo ebbero specialmente in quei tempi tenebrosi, così che la credenza superstiziosa nelle stelle consegui una popolarità non immaginabile. Nel medio evo quasi ogni padre faceva comporre per suo figlio l'oroscopo, e nessun capitano dava battaglia senza che le osservazioni ed i computi del suo astrologo lo avessero fatto convinto, che le posizioni delle stelle erano propizie alla sua impresa. Le ultime traccie di questa superstizione delle stelle si riscontrano ancora oggi sulle nostre fiere e mercati, dove i " Pianeti „ ci svelano il nostro carattere ed il nostro avvenire. Da questa tenacità di esistenza noi possiamo comprendere quale inaudita popolarità, la credenza negli astri avesse raggiunto.

Fig. 2. — Giovanni Keplero (nato nel 1571 a Weil in Svevia, morto nel 1630 a Regensburg). Da un' incisione di Giovanni von Heyden, riportata nell' " Historischen Porträtwerk „.

Ma per quanto gravemente pericolosa fosse questa superstizione, essa apparve più tardi come uno stadio necessario dello sviluppo, quasi direi una inevitabile malattia purificatrice.

È noto che Keplero si procacciava il suo scarso pane facendo l'astrologo, e che si sforzò di approfondire filosoficamente l'astrologia, e che finalmente pervenne alla conoscenza di quelle grandi leggi che stanno a base del grandioso edifizio moderno delle nostre condizioni astronomiche. Keplero stesso scrisse della relazione fra l'astrologia e l'astronomia nel seguente caratteristico modo: " Quest'astrologia è bensì una figliuola pazza, ma, buon Dio, dove andrebbe la madre, la savia e

ragionevole astronomia, se non avesse questa sua figliola pazza, ma il mondo è ancora più matto e tanto, che a lui, alla sua pietà, la madre vecchia e intelligente deve venir raccomandata ed affidata dalle pazzie della figliola. Ed i *Mathematicorum salaria* sono così meschini, che la madre dovrebbe soffrire la fame, se la figliola non vi provvedesse ».

Ma come può essere avvenuto, che appunto da quel tempo della riforma dell'Astronomia quando anche cominciarono a stabilirsi con sicurezza matematica le nostre conoscenze sulla costituzione dell'universo, l'interessamento generale per esse venisse manifestamente scemando?

Non senza vergogna, noi troviamo qui confermata la verità antichissima, che l'umanità cessa d'interessarsi ad una cosa, quando questa privata della nubilosità del meraviglioso viene senza velo in nostro possesso. A ciò s'aggiunse anche, che in conseguenza il sacerdozio non poteva più oltre prendersi a cuore la cultura della scienza del cielo. Bentosto s'originò una netta opposizione fra la Chiesa ed il nuovo indirizzo delle dottrine astronomiche e ciò, come è noto, dacchè Copernico rimosse la Terra dal centro del mondo, e le assegnò una così modesta posizione nella gerarchia dell'universo. Tuttavia pel solo riconoscimento di questo fatto, la Chiesa, senza dubbio, non si sarebbe indotta ad abbandonare quel campo che fino allora era stato senza contestazione di suo pieno dominio, se l'alta mente di Galileo non avesse avvivata e fatta di pubblica ragione la contesa. Il sacerdozio prudente avrebbe ben altrimenti trovato una meno penosa scappatoia del dilemma.

Ma poichè il clero, allora onnipotente, si era recisamente pronunciato contro la nuova dottrina, era naturale che la riverenza professata fino allora all'Astronomia si convertisse in scherno e spregio, che si manifestarono con libelli e con farse da carnovale sulle fiere. Con ciò la era finita del tutto colla popolarità dell'Astronomia.

A ciò s'aggiunse ancora che l'insegnamento, che appunto in quel turno s'andava diffondendo, era esclusivamente nelle mani dei preti. Ma questi si guardarono bene dall'introdurre nei programmi dell'insegnamento un ramo del sapere, il quale, ai loro occhi almeno, era divenuto un potente alleato al più acerrimo nemico della Chiesa. Quando, come allora, fu insegnato a ricondurre a semplici leggi i movimenti celesti, e si poterono in ogni tempo predire i loro fenomeni, senza il sussidio di potenze ultra-terrene, essi cessarono di essere segni della mano di Dio. Il clero non aveva più nessun motivo di occuparsi di loro.

Con questo abbandono, doveva correre di pari passo un'influenza insolitamente favorevole allo sviluppo delle opinioni popolari circa i fenomeni celesti, ed un relativamente assai rapido fiorire delle credenze astrologiche già prima così invadenti. Un germoglio di essa, la paura delle comete, rimase fino ad oggi nel popolo, ma questa superstizione prese un altro aspetto, assumendo in certo qual modo un carattere scientifico. Tutte queste idee si appigliano oggi, sebbene anche spesso in grande mancanza di cognizioni, ad opinioni scientifiche, non più alla fede nell'influsso diretto di una violenza divina, come una volta, quando l'apparire di una cometa si riteneva foriero di morte a grandi uomini, guerre, sconvolgimenti politici, rivoluzioni. Ma se ancora oggidì, dopo tanto tempo dacchè la scuola si è emancipata dalla Chiesa, la scienza elevata dell'Astronomia soffrisse delle conseguenze dell'anatema che la Chiesa lanciò contro di essa ai tempi di Galileo, essa potrebbe

pure nel suo asilo, dietro le tranquille mura dell'osservatorio, purificarsi intieramente dalle brutture dell'antico pregiudizio, per presentarsi in questa nostra epoca di scienza agli uomini, affinata e sublime quale mai non fu.

Oggidì si può constatare un non dubbio rinascere dell'interessamento generale al mondo delle stelle. Segnatamente in quei paesi, ove non preponderano di soverchio le cure politiche e sociali, l'Astronomia è di nuovo in piena fioritura. Per questo rispetto il Nuovo Mondo si distingue in modo eccellente su tutte le altre nazioni dei tempi moderni. Colà uomini privati pongono a disposizione ed a vantaggio dell'astronomia dei milioni, i più grandi cannocchiali del mondo, costrutti a spese private, ricercano senza posa colà gli spazi celesti, e quando nel 1892 il pianeta Marte s'accostò particolarmente alla Terra, tutti i giornali quotidiani americani erano pieni di notizie intorno alle osservazioni istituite in quella circostanza, non altrimenti che se si trattasse di un avvenimento politico d'importanza eccezionalissima. Ma per quanto ingenue appaiano spesso all'occhio dell'uomo del mestiere tali agitazioni, tuttavia esse mostrano, come di nuovo l'animo degli uomini sia stato attratto dal grandioso spettacolo dei cieli. Anche il bel successo, che in Berlino ottenne l'*Urania*, è un indizio dell'ognor crescente interessamento per l'Astronomia.

A qual nuovo movimento devesi attribuire questo felice rivolgimento? In prima linea, senza dubbio, ai grandi progressi che l'Astrofisica ha fatto nell'ultimo ventennio; l'astrofisica è la scienza che investiga la costituzione dei corpi celesti. Dalle primissime osservazioni astronomiche, fino all'epoca della loro riforma al principio del diciassettesimo secolo, non si potè far altro che seguire i movimenti dei corpi celesti: ogni indagine sulla loro costituzione era impossibile. Scientificamente fu solo possibile il proporre tali questioni, dopo che Galileo nel 1610 rivolse al cielo il primo cannocchiale. Ancora molto tempo dopo, e fin verso la metà del secolo presente, l'Astronomia veniva parzialmente definita come la scienza che aveva per iscopo di studiare i movimenti degli astri e di trovarne le leggi; ed anche il gran Bessel, il massimo fra gli astronomi d'osservazione della prima metà del secolo presente, riteneva che l'occuparsi a ricercare che cosa fossero le macchie della superficie lunare, poteva essere un interessante trattenimento per i dilettanti, ma non certo occupazione per astronomo di professione. Ma questa parzialità, la quale però nei casi speciali condusse a maggiore profondità, non poteva non nuocere al divulgarsi della nostra sublime scienza, giacchè i dilettanti non potevano che a gran pena addentrarsi nei difficili ragionamenti, che condussero alla scoperta delle leggi dei movimenti celesti. L'Astronomia divenne così sempre più una scienza esoterica che evitava il contatto col mondo esterno. Con questa rigorosa separazione dal mondo i suoi discepoli si fecero un gran torto, ben difficilmente riparabile. Tutte quelle azioni etiche ed educative, che da nessun'altra scienza emanano così potenti, come dalla conoscenza dell'eterna, imperscrutabile armonia dell'universo immenso, rimasero strettamente richiuse da un amore egoistico ed unilaterale, per una seconda volta, fra le pareti interne dell'osservatorio, come fra le mura di un chiostro.

Ma da quando l'astrofisica ci ha dato così interessanti notizie sulla costituzione superficiale dei corpi celesti, da quando noi sappiamo che vi sono due mondi vicini, la cui conformazione e le cui condizioni d'esistenza sono senza dubbio simili a quelle della nostra Terra, così che noi possiamo supporre su di essi creature simili

a noi, il cui pensiero forse al pari del nostro attraversa il cielo, per strappare alle stelle il gran segreto dell'universo, come tentarono in tutti i tempi tutti i popoli ciascuno alla propria guisa, da allora vibrano nel più intimo nostro interno le corde dell'umanità, quando noi armati dei migliori mezzi di indagine che aiutano la nostra intelligenza, dirigiamo lo sguardo a quei mondi fratelli. " Vi sono „ dice Camillo Flammarion nella sua grande opera sul pianeta Marte, " nella vita ore piene di esaltazione, gioie preziose, gaudi indicibili, beatitudini celesti. Ora, fra queste ore d'incanto ve ne sono poche che versino nell'anima una completa soddisfazione, che ci commuovano in maniera più nobile e più elevata, che l'osservazione delle configurazioni sul pianeta Marte, in una serena notte d'estate. È veramente a lamentare che così pochi uomini abbiano provata questa impressione: di vedere davanti a sè un altro mondo, coi suoi continenti, i suoi mari, le sue sponde, i suoi seni di mare, i suoi promontori, le sue isole, gli sbocchi dei suoi fiumi, le sue abbaglianti regioni nevose, i suoi paesaggi indorati dal Sole, le sue brune acque, quale ci sta dinanzi e ci appare nel cannocchiale, e che roteando lentamente sopra se stesso, adduce alle varie sue plaghe il giorno e la notte, la primavera dopo l'inverno, la state dopo la primavera, immagine in miniatura della nostra Terra, nel remoto spazio celeste. Questa contemplazione ci eleva fino ai più sublimi misteri della natura, alla questione della vita universale ed eterna, essa ci pone innanzi alle ultime verità, al problema della creazione. La Terra diviene come una provincia dell'universo ed il nostro sentimento popola le altre patrie nell'immensità di fratelli sconosciuti „.

Noi riconosceremo ben presto, che il carattere profondamente etico ed educativo dello studio astronomico che affinando ogni agitazione ed attività umana, deve agire completando e perfezionando, irradia non da questa mera contemplazione dei corpi celesti, e delle esaltanti immaginazioni che suscita, ma può ben altrimenti venir raggiunta col penetrare nella legge immutabile dell'istoria celeste. Ma queste sensazioni umane commuovono l'anima, aprono l'occhio della mente, spronano lo spirito a più profondo scrutare, e solamente chi è animato da vivo amore, può giungere a quel sapere, che a noi non consente certo la lotta per la vita sotto la minaccia del più aspro soffrire.

Nessun meglio del grande pedagogo Adolfo Diesterweg, seppe esprimere nel modo più conveniente l'efficacia educativa dello studio dell'Astronomia, ed in generale dell'intima comunicazione colla natura. Noi non possiamo far meglio che riportare qui quelle parole d'oro:

" La faccia degli uomini non è rivolta alla Terra, ma in alto. Fin dalla prima età il suo sguardo si rivolge al cielo, ed i più antichi popoli allo stato di natura ne conoscevano le manifestazioni più generali. Queste in costanza eterna mostrano un eterno cambiamento sotto leggi generali ed immutabili. Tutto lassù è regola e legge. Il riconoscerle avanza la dignità umana. La scienza che si occupa del cielo, è la più alta di posto. La scienza o meglio la conoscenza della natura è la cognizione delle manifestazioni, della loro causa e del loro regolare andamento.

" Come ogni certo sapere obiettivo, non affetto da alcuna opinione o supposizione soggettiva rende lo spirito saldo e più sicuro, e lo riempie di un contenuto durevole: così è della scienza delle manifestazioni generali e delle loro leggi. Esso eleva l'uomo al di sopra delle vicissitudini della vita, delle vanità e

fragilità, che rumoreggiano come le onde del mare, e noi ne ignoriamo in massima parte le leggi.

" In ogni tempo gli animi quieti e tranquilli hanno subito un'attrazione verso la conoscenza del cielo stellato. Essa è in grado elevato propria ai ragazzi riflessivi. È generale l'interessamento per questa scienza. Dove non lo si trova, e non è più esistente, ma vi era, corrisponde alla natura, ed è in conseguenza facilmente eccitato. Solo chi è intieramente assorto nelle cure della vita, o piega sotto il carico terreno, od anche chi è schiavo delle passioni, è insensibile per una scienza così pura, e di per sè tanto nobilitante. Ma come l'esperienza mostra, anche gli esseri più disgraziati, i ragazzi sovraccarichi di lavoro nelle fabbriche, si rallegrano, quando alquanto sollevati e riposati, ascoltano a tarda sera discorrere del Sole, della Luna e delle stelle...

" L'Astronomia estende la vista dell'uomo, e lo innalza sulle meschine e locali opinioni e vedute. Che ogni suo modo di riguardare il mondo cominci dal luogo ove sta, si comprende da sè, non può essere altrimenti, e non ha d'uopo di scusa. Ma colui che vi si ferma, che non ricerca mai, come il mondo appaia da altri punti di vista, e che non si sforza di portarsi in altri luoghi d'osservazione e di assurgere ad idee generali universali, comuni a tutto il genere umano, costui è, per fermo, un uomo limitato, destinato alla gleba (*glebae adscriptus*). L'Astronomia è il mezzo più eccellente per elevarsi a grandiosi concepimenti del mondo. L'attività dell'uomo diventa più libera quando la casa s'allarga, e la ristrettezza della veduta scompare, quando cresce lo spazio. Per trovarsi proprio in casa nostra, bisogna diventare cittadini del mondo e per abbreviare la vita terrestre, bisogna slanciarsi negli spazi celesti e comprenderli. Io non conosco alcun'altra scienza, che in pari grado elevi e tranquillizzi l'uomo. E per fermo, nell'irrequietezza e nella lotta d'oggi, l'uomo che da questi conflitti allontanandosi a lei si rivolge, subisce la sua potenza che calma ed innalza. In essa non regna nè odio nè inimicizia. Essa sradica questi demoni che ci rodono il cuore. In verità, essa è una magnifica, nobile, alta scienza. E come potrebbe essere altrimenti! le sue leggi, le sue regole, non dipendono dal lavoro artificiale umano, ma dall'architetto dell'universo! Perciò nessun uomo ne dovrebbe essere privato.

" L'Astronomia, come tutte le scienze, specie le naturali, è di quelle che camminano, che progrediscono. Il suo contenuto s'ingrossa, le sue determinazioni diventano sempre più esatte, la sua conoscenza acquista importanza. Fra tutte le scienze, quelle naturali sono quelle che più avanzano. Nessun uomo che pretenda d'essere colto può trascurarle. Quindi anche per l'insegnante, il rendersene edotto è grandemente importante.

" L'Astronomia come scienza naturale, colloca nella natura colui che vi attende. Solamente da questo punto fisso è possibile il considerare le cose in modo naturale, sano e vero; e solamente passando per esso è possibile di essere introdotto nel presente, e quindi di apprezzare degnamente il passato per quanto concerne la verità che ha messo in luce e la via giusta tenuta per giungere alla civiltà. L'uomo sano, destinato a produrre, non giudica il presente dal passato, ma bensì il passato dal presente. Il presente sta sulle spalle del passato, è camminato innanzi su di esso. L'imperfezione è misurata dalla perfezione. I sistemi e le opinioni non naturali, contorti e contraddittori nella loro opposizione alla natura, sono da questa

(l'esterna e l'interna) riconosciuti ed allontanati, la caricatura appare tale a paragone della natura. Per il ritorno a rapporti, condizioni e modi di pensare naturali, lo studio della natura è della più alta importanza.

" Io insisto più energicamente su queste naturali conseguenze dello studio della natura, che non sull'immediata conoscenza di essa: per un uomo logico, queste conseguenze si estendono a tutti i suoi pensieri, a tutte le sue azioni, sul suo modo tutto di comprendere il mondo e la sua posizione. La verità della natura non può essere mutilata. Ogni altra " verità " trova perciò nella verità della natura, una volta ammessa, il suo controllo. Solo nel contatto immediato colla natura l'uomo si risana e depone tutte le rappresentazioni e le immaginazioni troppo tese, sopranaturali o contro natura. Senza l'immagine e l'esperienza di natura, tutti gli uomini soggiaciono alla superstizione; la potenza sua si fonda sull'ignoranza e l'imbecillità degli uomini.

" Ciò che contradice alla verità naturale, è falso, così come tutto ciò che non armonizza colla natura è cattivo e spiacevole. Tutte le cose sono in natura fra loro in completa unione ed armonia. Chi pertanto anche nelle relazioni umane vuol cooperare a raggiungere questo scopo, si rivolga alla natura. Quanto ciò sia importante, puossi scorgere tanto dall'indole naturale di quegli uomini che stanno di preferenza sotto l'azione della natura, quanto di quelli che a questa si sottraggono, e temono l'influenza dello studio della natura, sui loro sistemi, metodi e ritrovati. Quest'ultimo modo di pensare contiene un impulso negativo, il primo invece un impulso positivo ad occuparsi della natura. Al suo mostrarsi non regge alcun lavorio artificiale, e le opinioni superstiziose svaniscono innanzi ad esso come le nottole all'apparir del sole. Nelle scienze naturali è insita una naturale azione contraria ai tentativi di reazione, ai piani ed ai sistemi d'oscurantismo. Ogni vera dilucidazione è il frutto di un vero riconoscimento della natura, di un recente svolgersi della propria natura. Gli uomini non ben conformati moralmente odiano la natura, un indizio ricco di ammaestramenti per chi non ha imparato a fidarsi della natura esterna ed interna.

" Nella natura noi viviamo, operiamo ed esistiamo, essa avvolge gli uomini, la loro esistenza è a mezzo di essa innalzata, per questa essa sussiste. Il distaccare l'uomo dalla natura, sarebbe come un volere togliere la luce agli occhi, l'aria ai polmoni, ed il voler fare un essere esistente di per sè. L'interdire all'uomo la conoscenza e la ricerca della natura è come volere otturare per lui la sorgente della verità immediata, è volerlo privare del mezzo di guarigione contro qualsiasi stravaganza o snaturatezza. A tali stravaganze appartengono anche gli scrupoli religiosi intorno a quella ed a questa scoperta, vale a dire la verità nella natura. Gli astronomi non vi badano. Anzi, essi vedono nella regolarità universale delle manifestazioni naturali una prova dell'azione del Creatore...

" Le cognizioni astronomiche agiscono di per sé. Ma confesso che desidero che il lettore riflessivo non si indugi su esse nel significato stretto della parola, ma che le lasci agire in sè, vale a dire che egli ricerchi, confronti, riunisca quelle cognizioni e quei concetti, ai rimanenti suoi pensieri, alle altre norme di condotta, acquistate per altra via, per vedere se fra loro concordino ed armonizzino. Le cognizioni isolate fruttano poco. Nello spirito tutto deve andare d'accordo. Sotto questo aspetto lo studio della natura, la conoscenza delle grandiose leggi

immutabili, può avere sulla educazione dello spirito, la più profonda ed estesa influenza. L'Astronomia affina e purifica „.

L'azione etica e nobilitante dell'Astronomia vuolsi anche ascrivere al fatto, che un non scarso numero di generali benefattori dell'umanità uscì dalla schiera degli astronomi, sebbene questa bella attività delle loro ore di riposo, sia pervenuta ben di rado alla conoscenza del pubblico. Di questi anni, Guglielmo Foerster, direttore dell'Osservatorio Reale in Berlino, sostenne in numerosi scritti e discorsi, il valore, che per educare all'esattezza in ogni azione e pensiero umani, ha il dedicarsi agli studi astronomici e più generalmente a quello delle scienze naturali. In realtà è certo che la massima parte delle nostre contese politiche e di affari, e molti amari dolori che la vita quotidiana ci serba, sono da attribuirsi ad inesattezze del nostro proprio giudizio od a quelle del nostro prossimo.

Si può, in molti casi, rendere manifesta la profonda influenza di tale educazione all'esattezza, e più ancora la necessità di istituire nei rapporti e nelle relazioni della vita, che si van facendo ognor più complicate, delle indagini più metodiche di dianzi, che riducano ad un minimo, per ogni singolo individuo, la possibilità di errori personali, e sopratutto di istituirle prima di prendere una decisione, che può essere di grande portata sul destino umano. L'autore ha, in altro luogo, dimostrato, come sarebbe necessario e salutare che l'igiene e la giurisprudenza imparassero dall'Astronomia, come si possa con metodi scevri da preconcetti e affatto meccanici, da un gran numero di singole osservazioni eliminare gli errori accidentali e ricavare una legge generale anche dagli avvenimenti più complicati. Così ogni grande istituzione, ogni corpo legislativo, non dovrebbe più a lungo lavorare senza questi metodi generali per dedurre le leggi, metodi che finora, come è noto, non furono introdotti che negli uffici di statistica. Quante ingiustizie, quanti errori indicibili si potrebbero con ciò evitare.

Per essere, a nostra volta, esatti e giusti, noi non dobbiamo tacere, che oggidì non è la sola Astronomia che desta e promuove il sentimento dell'esattezza.

È noto che ancora poco tempo addietro, l'Astronomia era considerata come un ramo della fisica. Solamente quando, dopo la sua riforma, s'accrebbe grandemente, le si dovette riconoscere il rango di una scienza speciale. Da ciò appare a sufficienza l'intima relazione delle due scienze, relazione della quale noi dovremo bene spesso fare uso in seguito. Quindi l'approfondire ben addentro la fisica svilupperà certamente lo stesso valore educativo che l'addentrarsi nell'Astronomia; ma quest'ultima avrà sempre su tutte le altre il vantaggio dell'elevatezza del suo oggetto, e del mistero che avvolge ogni cosa estra-terrena. È vero che questo vantaggio esiste solo per colui che penetra in queste regioni: l'iniziato scopre l'elevatezza, la grandezza, il mistero in ogni campo della natura. Ma qui, penetrando nel mondo stellato, portiamo con noi il sacro convincimento, e la spinta a più alto sapere come un'eredità di migliaia d'anni. Questa attrazione quasi naturale che esercita lo studio dei fenomeni e dei movimenti celesti, dona al loro studio il massimo valore pedagogico rispetto a quello di tutte le altre scienze naturali.

Prova del riconoscimento del carattere etico ed educativo dell'Astronomia, che va poco alla volta facendosi strada, è che essa va oggidì adagino adagino divenendo di nuovo popolare. Si cerca di riparare al gran torto fatto una volta alla più nobile e pura fra le scienze, e poichè i governi, più per inveterata abitudine

che per speciali considerazioni, non furono mai troppo benigni coll'Astronomia, l'iniziativa privata si diede a promuoverla.

Queste considerazioni preliminari dimostrano che l'indagine delle manifestazioni del firmamento eterno, ha sempre saputo in ogni tempo far vibrare sonoramente in noi le più recondite corde del nostro essere, e che essa ha preso la parte più essenziale allo sviluppo spirituale del genere umano. Col mutar dello spirito dei tempi, mutò pure l'indole di una tale influenza ed in tempi agitati, le lotte irrequiete dell'umanità per l'acquisto di nuove condizioni d'esistenza, ora cure materiali dei popoli, ora incertezze politiche vincolarono i movimenti dell'anima, e troppo asservirono lo spirito alla Terra che ci nutre, così che il sacro fuoco poté per breve tempo venir coperto, ma non mai spento. Ed oggi, che la scienza dell'eterna armonia dei cieli sorse dalle mistiche tenebre della superstizione medioevale più che mai umanamente perfetta, oggi essa risuona e impera come un'educatrice e consigliatrice ultra-terrena dell'umanità, nei suoi più larghi e più intimi moti.

D'altra parte se l'indagine dei cieli al di là della piccioletta Terra, non deve solo appagare una curiosità, facilmente destata e del pari facilmente soddisfatta, se essa deve far di più che acquietare un nobile bisogno di sapere, al quale la Terra comincia ad apparire troppo piccola, se noi attendiamo da essa quella generale influenza nobilitante, della quale dicemmo in quanto precede, allora noi non dobbiamo solamente descrivere ed esporre, ciò che gli altri astronomi hanno veduto e pensato intorno agli astri, ma dobbiamo imparare a vedere ed a pensare da noi stessi, non vedere e ripetere gli altri, ma essere persuasi. Il nostro spirito non deve lasciarsi offuscare dalla mistica eccitazione dell'inafferrabile, che emana dalla grandezza materiale di quei corpi librati nello spazio, quando noi ci innalziamo alla loro contemplazione; noi vogliamo ben più, con crescente entusiasmo, acquistare la luce di conoscenza che irradia dalla regolarità universale dell'universo, ed assurgere all'ordine elevato del tutto. Poichè da questa conoscenza, ne deriverà in ogni nostro atto, in ogni nostro procedere maggior ordine ed armonia. Noi dobbiamo principalmente apprezzare, non i risultati, ma i metodi. E ciò è tanto più necessario per rispetto ai remotissimi oggetti celesti, inquantochè la semplice intelligenza umana, si libera solo con difficoltà dall'opinione che l'inaccessibile distanza degli astri sia anche un ostacolo insormontabile alla conoscenza di essi, e che le cose interessanti, che noi raccontiamo intorno alle stelle, siano tuttavia dal più al meno opinioni o frutto di pensamenti. Dobbiamo quindi separare nettamente ciò che appartiene ai risultati della ricerca in questa specie di cognizioni, da ciò che noi sappiamo, colla sicurezza di pure conseguenze logiche, e che è per sempre intangibile. Ci avvedremo ben presto che la scienza degli astri innumerevoli abbraccia assai più assoluto sapere, che non le altre scienze che si occupano di oggetti a noi molto più vicini. Solo la fisica, scienza così prossimamente parente dell'Astronomia, può competere con questa, per tesori di verità riconosciute assolute.

Certamente la massima parte di quelli che non sono astronomi ritengono come d'assai troppo difficile il seguire quelle vie del pensiero che permettono di abbandonare arditamente il ben noto e sicuro suolo terrestre. Già molti provano vertigini al mero enunciato di quei risultati: che avverrebbe se essi dovessero tener dietro

alla loro dimostrazione? È della massima importanza il dissipare questa prevenzione. Niente è in realtà più facile, che il tener dietro alla serie di deduzioni logiche che conduce alle stelle, giacchè questa serie costituisce un sicuro filo di guida, attenendosi al quale non si può sbagliare strada, quando si sia imparato a pensare. Con poche regole e leggi si può spiegare tutto il complesso andamento dei corpi celesti, mentre invece in tutte le altre scienze è d'uopo accumulare molto materiale, non collegato da altro vincolo logico. Ma quello che ai profani prepara le maggiori difficoltà, è la trascuranza dei dettagli di ciò che si studia. Poichè egli non vuole applicarsi allo studio delle varie particolarità, vale a dire non vuole imparare a memoria i necessarii dati, così più tardi, le dimostrazioni che si fondano su questi dati, gli presenteranno difficoltà tanto maggiori, quanto minore è il tesoro di quei dati che egli ha raccolto nella sua mente. Ma il nostro sapere astronomico si può così esporre, che esso si sviluppi nel nostro spirito; messa la radice, si svolgono il fusto ed i rami, così che in una parola, esso cresce organicamente con noi. Così che anche non si ha danno se delle varie formazioni del grande albero della scienza, dei milioni di foglie all'estremo del ramo molto va perduto, molto rimane ignorato. Il tronco rimarrà sempre profondamente radicato nella nostra intelligenza.

La grande ed inafferrabile distanza degli oggetti celesti, cesserà ben presto dall'opporci difficoltà, quando noi avremo imparato a prendere ogni cosa relativamente. Poichè per noi non vi è nulla di grande e nulla di piccolo, almeno nel senso, che tutto ciò che oltrepassa i mezzi di misura umani diventa perciò solo degno di ammirazione. Anche gli esseri e le cose infinitamente piccole ci meravigliano non appena noi scopriamo in essi una bella organizzazione, una regolarità armonica, come e quale la scorgiamo nella natura che è alla nostra portata. In questo senso ha anche la sua ragione di essere la nostra meraviglia dinanzi alla grandezza dell'universo.

---

2. — LA LUCE ED IL CANNOCCHIALE

Il primo passo per salire dalla Terra al Cielo è il più difficile. Non giova l'affidarsi solo all'immaginazione, sarebbe pericoloso ed inutile, occorre al nostro piede un più saldo appoggio, e questo ci offrono gl'istrumenti ed i metodi d'osservazione astronomici. Giova per acquistarvi fiducia ed il senso di sicurezza necessario per evitare le vertigini a si grande altezza, il conoscerli e l'averli famigliari.

Il solo legame diretto tra noi e le stelle è la luce: con essa noi costruiamo il nostro ponte tra Terra e Cielo. Per quanto inafferrabile ed immateriale ci sembri questo *nulla* che vola per lo spazio rapidissimo, che si chiama il fenomeno della luce, tuttavia è provato che a mezzo di essa è stabilito un vero vincolo materiale coi corpi luminosi, e quindi nel nostro caso colle stelle. Ma con ciò non è a credere, come si credeva fino a Newton, che realmente dai corpi luminosi si stacchino delle particelle materiali, che lanciate in linea retta come proiettili velocissimi colpiscano il nostro occhio, ma bensì che ogni corpo luminoso fa vibrare gli atomi

dell'etere diffuso ovunque per lo spazio, in guisa che il moto vibratorio si trasmette da atomo etereo ad atomo etereo, finché dura l'impulso del corpo illuminante. Gli atomi dell'etere, che si possono pensare come corpuscoli materiali estremamente piccoli, oscillano così intorno ad una posizione di riposo, quando da altre cause non siano posti in movimento progressivo.

L'ultimo, atomo vibrante che percuote un elemento della nostra retina, e con ciò determina l'eccitamento nervoso, che noi chiamiamo luce, possedeva un moto caratteristico che in misura ridotta in proporzione era proprio di quel corpo luminoso, dal quale il movimento prima si partì. Il nostro occhio analizza la natura di questo movimento: riconosce, se la luce è intensa, vale a dire se molti atomi percuotano la retina contemporaneamente secondo la stessa direzione; determina il colore di quanto lo circonda, ossia quanto rapidi gli atomi percuotano. Il fisico ha insegnato che la luce rossa è prodotta dai movimenti più lenti degli atomi, quella violetta dai più rapidi. Si viene così a riconoscere, che l'occhio è il più perfetto istrumento dell'astronomo, e che solo a mezzo di esso ci perviene quanto sappiamo dell'universo.

Ad aiutare il lavoro che l'occhio fa nell'analisi della luce fu inventato il cannocchiale. Esso ha per così dire lo scopo di trattenere, per quanto è possibile, quei messaggieri dell'universo, quegli atomi vibranti, e che producono nel nostro organo visivo l'impressione della luce. Si vede facilmente quanto sia importante al nostro scopo questo rinforzo dell'impressione della luce. L'eccitamento nervoso della luce si manifesta solo allora quando un certo numero minimo di atomi urta sopra un medesimo punto sensibile della nostra retina. Se a noi pertanto riesce, per mezzo del congegno del telescopio di afferrare un numero di atomi vibranti maggiore di quello che possa l'occhio nelle circostanze ordinarie, le sensazioni ne saranno più energiche, le comunicazioni tanto più sicure, e tanto più facile il decifrare i dispacci che essi ci portano. Come avviene ora quell'aumento di urti di atomi a mezzo del telescopio? Per esaminare bene questo importante processo, noi dobbiamo prima lasciare il cielo, e scegliere una qualsiasi sorgente di luce terrestre, che sia sotto la nostra immediata sorveglianza, per stabilire e provare la proprietà del cannocchiale. Noi invadiamo così il dominio del fisico, al che ben presto è costretto l'astronomo.

La fisica ci insegna che le ondulazioni della luce si propagano in modo simile a quello delle onde circolari, che si riproducono alla superficie dell'acqua quando vi si getta dentro una pietra. Quest'ultima trascina con sè in giù un numero di particelle acquee, le quali poi ben presto devono di nuovo portarsi in alto. Si genera così un oscillare in su e giù che si comunica alle particelle circostanti. Si formano così onde di depressione e di rialzo, tali che nell'allontanarsi del moto oscillatorio dal centro, le fasi d'oscillazione devono essere diverse. Si formano in questa maniera degli anelli che sembrano muoversi, e che diventano sempre più bassi coll'allontanarsi dal centro. È facile determinare in qual rapporto stiano fra loro la diminuzione in altezza dei rialzi delle onde e la distanza. Ma poichè quella sola azione prodotta dalla caduta della pietra nel centro, si deve propagare regolarmente da tutte le parti, così la somma di tutte le particelle acquee che formano i rialzi delle onde, deve essere la stessa ad ogni distanza. La superficie, sulla quale deve distribuirsi questa somma eguale, cresce col quadrato della distanza dal centro,

e quindi, se il numero delle particelle acquee deve in tutto l'anello essere uguale a quello di tutti gli altri più piccoli che esso abbraccia, così anche l'altezza dei rialzi delle onde dovrà diminuire nello stesso rapporto anzidetto. In modo affatto generale si può enunciare il teorema, che ogni azione che si propaga regolarmente in tutte le direzioni, deve diminuire come il quadrato della distanza dal centro, quando non subisca alcuna resistenza. Questo è un teorema importantissimo, che c'interesserà ancora più nelle conseguenze delle nostre considerazioni sulla disposizione dell'universo, quando dovremo occuparci delle leggi della gravitazione.

Così se 16 candele sono accese, e alla distanza, ad esempio, di 1 m. diffondono una certa quantità di luce, alla distanza di 2 m. daranno un'illuminazione 4 volte più debole, ossia diffonderanno solo tanta luce quanto 4 candele ad 1 m. di distanza. A 4 m. noi dobbiamo dividere la quantità di luce per $4 \times 4 = 16$; l'intensità della luce è qui ancora quella di 1 candela ad 1 m. di distanza.

Noi sappiamo che le vibrazioni della luce, vengono dal corpo luminoso diffuse per lo spazio in ogni direzione. Esse non percuotono dunque solamente colà dove penetrano direttamente nell'occhio, ma su tutto il rimanente del volto, ecc., con una vera grandinata di colpi di atomi, che sono generati dalla sorgente luminosa, ma che non sono avvertiti come luce, perchè ivi mancano i nervi disposti a tale scopo. È quindi di tutta nostra convenienza il procacciare che entri nel nostro occhio anche una parte di questi scuotimenti di atomi, che vanno dispersi. E ciò, evidentemente non può ottenersi, che deviandoli dal loro primitivo cammino. La figura qui unita rende ciò evidente. Dalla candela si dipartono in tutte le direzioni dei raggi: essi incontrano la superficie *ag*, nei punti *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*. Ma solamente quei raggi che passano per *d* entrano immediatamente nel nostro occhio. Conviene quindi deviare gli altri raggi, come indicano le linee punteggiate. Le cognizioni che noi possediamo sulla natura della luce ci pongono in grado di ciò ottenere in un modo molto semplice. Poichè la luce in realtà non è che l'azione di un urto di atomi, così questi debbono comportarsi come palle da bigliardo, le quali rimbalzano dalla superficie contro la quale battono, e precisamente, come sa ogni giuocatore di bigliardo, sotto lo stesso angolo, sotto il quale la percorsero, ma solamente dalla parte opposta. Lo stesso avviene per la luce sulla superficie liscia dello specchio. Mentre gli atomi divengono rinviati in tutte le direzioni, da una superficie bianca, che con un ingrandimento sufficiente si mostra sempre scabra, come avverrebbe delle palle da bigliardo, se le sponde del bigliardo fossero proporzionalmente del pari rugose, uno specchio per contro rimanda indietro tutti gli atomi in guisa che essi giungono al nostro occhio secondo una direzione, la quale è inclinata sullo specchio, ma pel verso opposto, di tanto quanto lo erano i raggi incidenti.

Noi possiamo osservare ciò facilmente sopra ogni specchio: e la figura lo dimostra chiaramente. La luce della candela percuote bensì tutti i punti dello specchio, ma noi riconosciamo senz'altro che nella supposizione che tutti i raggi vengono rinviati dallo specchio, sotto un angolo eguale a quello secondo cui vi caddero sopra, solo un certo fascio di raggi, quello che forma collo specchio l'angolo *a*, può entrare nel nostro occhio. Ma poichè *a* deve essere eguale a *b*, noi vediamo nello specchio la candela, nella direzione data dal disegno, e come se apparentemente fosse, dietro di esso, ad una distanza eguale a quella della quale è in realtà distante sul davanti.

Di questa proprietà degli specchi si possono fare applicazioni molto utili. In tutti i casi nei quali occorre dirigere da ogni parte della luce, verso un dato luogo, senza che ciò sia possibile in modo diretto, si dispongono tanti specchi, facenti fra loro angoli convenienti, finchè l'ultimo raggio riflesso abbia preso la direzione desiderata. Simili disposizioni si riscontrano in molti grandi cannocchiali, e specialmente negli apparecchi sussidiari. Ma anche in altro senso puossi trar partito della proprietà degli specchi piani. Uno specchio curvo di qualsivoglia forma può decomporsi in tante piccole parti o elementi, che per le loro esigue dimensioni si possono considerare come staccantisi assai poco dalla forma piana; e su ciascuna di esse la riflessione avverrà secondo la legge medesima e come sopra una superficie liscia, e ciò tanto più quanto più la sorgente di luce disterà dallo specchio,

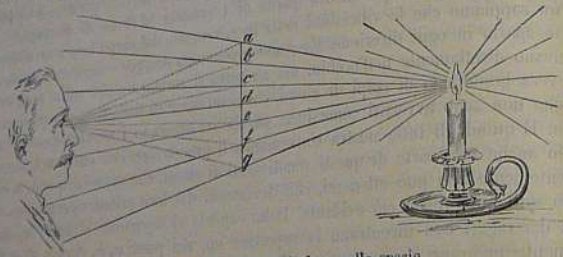


Fig. 3. — Propagazione della luce nello spazio.

o il che è per noi il caso più interessante ed importante, a distanza quasi infinita. Quest'ultimo caso, il solo che si presenta nelle osservazioni astronomiche, nelle quali gli oggetti luminosi sono situati a distanze, che noi praticamente possiamo riguardare come infinite, è pure il più semplice e lo scegliamo perchè ci facilita l'esame degli apparecchi che raccolgono e concentrano la luce.

Immaginiamo dapprima una serie di specchi molto piccoli, ad esempio di forma quadrata, appiccicati l'uno accanto all'altro sopra una striscia di carta, così che i loro orli siano paralleli: avremo così una striscia riflettente composta di specchi elementari. Se ora incurviamo la striscia di carta, così da darle la forma di un arco di cerchio, avremo un pezzo, grossolanamente ma praticamente paragonabile nei suoi effetti ad uno specchio concavo. Consideriamo ora i raggi provenienti da una sorgente di luce infinitamente lontana, una stella fissa, ad esempio, e che perciò corrono paralleli. Questi raggi verranno dai singoli specchietti piani riflessi secondo un angolo eguale a quello d'incidenza, e non è difficile il vedere, che con una appropriata posizione degli specchi, o, il che torna lo stesso, incurvando a dovere la striscia di carta (ad un dipresso a forma di cerchio), tutti i raggi cadenti sugli specchi verranno diritti verso un medesimo punto, che dicesi *fuoco*. La figura chiarisce meglio le esposte considerazioni.

Gli specchietti elementari devono venir presi così piccoli che essi possano adattarsi bene l'uno all'altro ed accompagnare la curvatura della striscia di carta, così da formare una curva esatta. L'esperienza e l'indagine teorica hanno mostrato,

che per costrurre uno specchio concavo, che riunisca rigorosamente in uno stesso punto, i raggi paralleli, ossia provenienti da un oggetto lontanissimo, bisogna dargli la forma geometrica di un paraboloide, di facile costruzione, e che pel nostro scopo non si scosta di molto da quella di una sfera. Non ci occorre conoscere più da vicino le proprietà geometriche di questo corpo, ci basti il sapere che non è per nulla difficile il costrurre con sostanze riflettenti uno specchio concavo di detta forma: specchio che ha dato alla indagine astronomica un potente aiuto.

Si comprende ora chiaramente come un tal specchio concavo concentri la luce, quando noi otteniamo una immagine reale, a mezzo di una effettiva riunione in un punto di tutti i raggi emananti da un punto dell'oggetto. È poi evidente, che noi otterremo al fuoco dello specchio concavo un'immagine tanto più luminosa, quanto più grande noi faremo questo; chè così esso arresterà un tanto maggior numero di atomi luminosi, messi in moto dall'oggetto e li concentrerà nel fuoco donde addensati, potranno facilmente penetrare nell'apertura della nostra pupilla. Questa lascia pertanto giungere fino alla nostra retina ed agire su di essa tanta luce quanta ve ne giungerebbe se noi avessimo un occhio della grandezza di questo specchio stesso. Noi possiamo quindi con tutta facilità calcolare la così detta forza illuminante dello specchio concavo, paragonando il suo diametro con quello della nostra pupilla. Quest'ultimo è variabile, ma possiamo ammettere che alla notte esso sia almeno di 5 mm. Quindi se noi impieghiamo uno specchio concavo di 5 cm. di diametro, che ha perciò una superficie 100 volte maggiore di quella dell'apertura della nostra pupilla, così a mezzo dello specchio questa riceve 100 volte più luce che senza di esso.

Fig. 4. — Riflessione della luce sugli specchi piani.

Le considerazioni fatte valgono solo per il caso, in cui le dimensioni dell'oggetto siano così piccole per rispetto alla sua distanza, che effettivamente tutti i raggi concorranno in un punto, e che quindi producano a tutto rigore un'immagine senza dimensioni. Con questa supposizione, che senza eccezione si verifica per tutte le stelle fisse, non si può discorrere di un potere d'ingrandimento di uno specchio concavo. Avviene altrimenti per i membri del nostro sistema solare, e per una serie di altri oggetti celesti, che producono un'immagine che ha una certa

superficie. Per evitare rappresentazioni puramente geometriche, ricorreremo ad un mezzo assai facile, per poter ottenere l'effetto d'ingrandimento di uno specchio concavo. Con uno specchio concavo, di distanza focale 25 cm., produciamo una immagine del sole, il cui diametro appare all'occhio nudo di circa un mezzo grado; misurando questa immagine, si trova che il suo diametro è di mm. 2,2. Non è possibile da qualsiasi distanza il vedere l'immagine reale prodotta dallo specchio concavo. Sarà solamente fattibile il vederla distintamente, situando l'occhio ad una distanza dal fuoco dello specchio concavo, alla quale vi si potrebbe scorgere nettamente un oggetto. Ma questa distanza della visione distinta varia da occhio a occhio, e quindi anche ogni osservatore, deve mettere il cannocchiale alla sua vista. Si può ritenere che per un occhio normale la distanza della visione distinta sia di 25 centimetri.

Guardiamo ora da tale distanza la nostra immagine solare di 2,2 mm. di diametro, essa ci si mostra di nuovo sotto un angolo di mezzo grado. Quindi alla distanza normale della visione distinta, l'immagine del Sole prodotta da uno specchio concavo della detta distanza focale, è apparentemente tanto grande quanto il disco solare guardato direttamente; perciò non si verifica alcun ingrandimento. Quando si ripeta l'esperimento con uno specchio di grandezza ad un dipresso uguale, ma di 1 m. di distanza focale, il diametro dell'immagine del Sole prodotta, sarà quattro volte più grande di prima e quindi lo sarà anche ad un occhio collocato alla distanza della visione distinta, sotto un angolo quattro volte maggiore di quello sotteso dal disco solare guardato direttamente. Noi possiamo quindi parlare di un ingrandimento di quattro volte. L'effetto che noi otteniamo col sussidio dello specchio concavo, è dunque, in altri termini, identico a quello che si otterrebbe quando noi potessimo avvicinarci al Sole di un quarto della sua distanza.

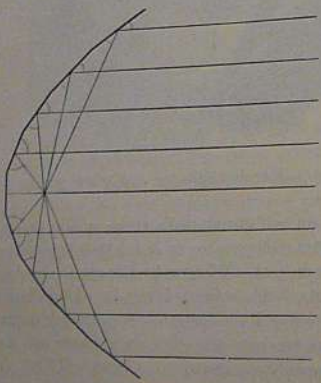


Fig. 5. — Cammino della luce in uno specchio concavo.

Noi possiamo proseguire col pensiero questa indagine, con specchi di eguale grandezza, ma di diversa curvatura, cioè di differente distanza focale; noi constateremo sempre che solo da quest'ultima dipende l'ingrandimento dell'angolo visuale, mentre la quantità di luce riunita nello specchio dipende, come già vedemmo, assolutamente dalla grandezza dello specchio. Si ottiene il numero che esprime l'ingrandimento, dividendo la distanza focale espressa in centimetri per 25 (distanza della visione distinta). Così ad esempio, uno specchio di 5 m. di distanza focale, dà un ingrandimento vero di $500 : 25 = 20$ volte; l'ingrandimento apparente in superficie ammonta naturalmente a $20 \times 20 = 400$. Se lo specchio possiede una curvatura tale, che ingrandisca in diametro apparentemente l'oggetto 10 volte, mentre

il diametro dello specchio è dieci volte maggiore di quello della nostra pupilla, la luce di esso deve distendersi sopra una superficie più ampia di $10 \times 10 = 100$ volte; ma poichè anche a mezzo dello specchio, viene inviata al nostro occhio solo cento volte altrettanto di luce, così la luminosità superficiale dell'immagine dell'oggetto, è la stessa che se noi guardassimo questo ad occhio nudo, solamente a mezzo dello specchio abbiamo ottenuto il vantaggio che esso ci appaia dieci volte maggiore.

Il comprendere bene questa relazione fra l'intensità di luce e l'ingrandimento, è della massima importanza per intendere come funzioni il cannocchiale. Il profano il più delle volte tiene l'opinione errata, che i grandi cannocchiali debbano produrre tutti gl'ingrandimenti possibili degli oggetti celesti, mentre l'astronomo si lagna che essi non possano essere altro che ingrandenti. Giacchè bene spesso egli desidera di poter sopratutto aumentare la luminosità dell'oggetto lontano, che egli non può, come fa il microscopista pel suo, illuminare artificialmente, poco o nulla bene spesso importandogli dell'ingrandimento.

Il massimo ingrandimento che un oggetto celeste può sopportare, dipende spesso dalla luce raccolta dal cannocchiale che si adopera. Noi possiamo scegliere uno specchio di tale grandezza e curvatura, che la luminosità di ciascuna parte dell'oggetto sia nel cannocchiale minore, che senza. Così ad esempio se lo specchio non fa che rendere decupla la quantità di luce, mentre l'ingrandimento è anche di dieci volte, la luce dovrà spandersi sopra una superficie cento volte maggiore, quindi sopra ogni punto della nostra retina non colpirà che una decima parte di atomi vibranti. In un siffatto specchio, che secondo le precedenti discussioni dovrebbe avere un diametro di circa 15 mm., verrebbero a sparire affatto oggetti ancora ben visibili ad occhio nudo, poichè la loro luminosità non è tale da sopportare una simile decimazione. Noi potremo tuttavia adoperare sempre ancora con qualche vantaggio un simile telescopio per la Luna e per i pianeti, i quali ci mandano luce a sufficienza, e che con esso ci appaiono dieci volte più grandi e quindi più chiari e forniti di maggiori particolarità. Se per contro noi lo rivolgiamo ad una plaga qualunque del cielo, molte stelle che l'occhio nudo chiaramente ci mostra, ci rimarranno nascoste. Con questo cannocchiale non si vedrebbero che le stelle della così detta seconda classe di grandezza, circa 70 invece di 6000, che si vedono ad occhio nudo, quando esse avessero un diametro misurabile e quindi passibile d'ingrandimento. Se questo non avviene, e se i rapporti descritti si ritrovano tuttavia più favorevoli, non è contraddittorio alle precedenti considerazioni teoretiche.

Ma entro i limiti che la pratica consente, noi possiamo scegliere ad arbitrio questo rapporto fra l'ingrandimento e la luminosità. Prendiamo ad esempio uno specchio concavo di 1 m. di diametro (a scopi astronomici se ne costruissero di quelli fino ad 1,80 m. di diametro, come vedremo più avanti), così poco incurvato, da ingrandire appena dieci volte: noi otteniamo così un grandissimo vantaggio rispetto alla luminosità. Un tale specchio ha un diametro duecento volte maggiore di quello della pupilla durante la notte; esso invia dunque al nostro occhio $200 \times 200 = 40000$ volte più luce, che non ne giunga nelle circostanze ordinarie. Ma poichè questo specchio deve ingrandire solo 10 volte, così questa luce deve spandersi sopra una superficie cento volte maggiore, quindi sopra ogni punto della

immagine ingrandita noi abbiamo sempre $40000 : 100 = 400$ volte più luce, che non ne percepisca l'occhio nudo. Con un siffatto specchio si possono pertanto scorgere stelle, che irradiino luce 400 volte meno di quelle che coll'occhio nudo ancora si scorgono. Queste sarebbero stelle di circa ventesima classe di grandezza, delle quali con un simile sussidio della visione se ne annoverano in cielo centinaia di milioni. In realtà, questa luminosità non fu raggiunta perchè con un ingrandimento così debole, altri inconvenienti, come segnatamente quello della grande lunghezza che si deve dare al cannocchiale, si incontrano ben prima difficili barriere. Risulta dalle precedenti considerazioni, che quanto più uno specchio concavo ingrandisce, tanto più lontano deve trovarsi il punto nel quale si raccolgono i raggi, e nella cui vicinanza deve collocarsi l'occhio. Quando vennero costrutti specchi concavi, usando i quali si doveva porre l'occhio a 16 m. da essi, s'incontrarono nella disposizione del cannocchiale di tali dimensioni troppo grandi difficoltà.

Il guardare direttamente l'immagine prodotta nel fuoco di uno specchio concavo, sarebbe assai incomodo. Oltre a ciò, una tale disposizione sarebbe meno conveniente giacchè non consente che un determinato ingrandimento e una data luminosità; tutt'al più quest'ultima si potrebbe modificare, potendosi all'occorrenza ricoprire, accecare le parti dello specchio vicino all'orlo. Per dar quindi soddisfazione a tutte le richieste che si possono porre nell'osservare i vari oggetti celesti, si tenne una nuova diritta via. Si ingrandisce l'immagine prodotta dallo specchio concavo al suo fuoco, a mezzo di una ordinaria lente d'ingrandimento. Ciò si ottiene, fissando nel piano dove il grande specchio forma l'immagine, quindi nel suo fuoco, un piccolo specchio piano, in guisa che intercetti la minor quantità possibile dei raggi che dall'oggetto, devono giungere allo specchio concavo. Lo specchio piano è inclinato rispetto ai raggi riflessi dal grande specchio, così che un occhio posto lateralmente e fuori del fascio di essi, e che guardi allo specchio piano, può vedere l'immagine focale che vi si produce. Ma sul percorso dei raggi vengono intercalate delle lenti d'ingrandimento, a seconda della costituzione dell'oggetto. La figura annessa dimostra questa disposizione. Quella lente d'ingrandimento vien chiamata *l'oculare* del cannocchiale. Con questa disposizione si può con un medesimo cannocchiale soddisfare alle diverse esigenze; solo vedesi che l'ingrandimento primitivo è possibilmente tenue, mentre la luminosità è grande. Si aumenta a piacere l'ingrandimento a mezzo dell'oculare, col che viene a diminuire in proporzione la luminosità dell'oggetto osservato. Son quindi sempre a preferirsi specchi i più larghi possibili.

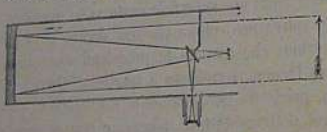


Fig. 6.
Cammino della luce in un telescopio a riflessione.

È d'uopo ora considerare il potere d'ingrandimento di un obbiettivo a specchio con oculare, e di determinarne il valore. Una lente d'ingrandimento fa vedere un oggetto tante volte maggiore, quante la sua distanza focale espressa in centimetri è contenuta in 25 centimetri (distanza della visione distinta). Sia f la distanza focale, allora l'ingrandimento è dato da $25^{cm} : f'$. Ma d'altra parte troviamo che l'ingrandimento proprio di uno specchio concavo di distanza focale f è all'incirca espresso

da $f:25$. L'ingrandimento totale della combinazione detta è $\frac{f}{g} \times \frac{25}{f} = \frac{f}{f'}$; ossia è il quoziente dell'ingrandimento dello specchio per quello dell'oculare. Così con uno specchio di 5 metri ed un oculare di 5 cm. di distanza focale, si ha un ingrandimento di 100. Diminuendo la distanza focale della lente oculare, si può teoricamente accrescere a piacere l'ingrandimento, ma in pratica ciò è possibile solo fino ad un certo punto. Se si vuole superare questo limite, non rimane altro, che scegliere uno specchio di maggiore distanza focale e di minor curvatura.

I precedenti paragrafi contengono quanto occorre per intendere l'azione del telescopio a specchio, che è divenuto celebre come mezzo d'indagine astronomica: e che non posseggono alcuna cosa oltre quelle già menzionate. Fino al principio del nostro secolo si ritenne che il progredire della nostra conoscenza dell'universo stellato dipendesse essenzialmente dalla costruzione di tali telescopi a riflessione, di dimensioni sempre maggiori. I due più famosi sono il telescopio gigante di Herschel, lungo 12 m., col quale quel grande osservatore fece tante scoperte interessanti, e quello ancora maggiore di Lord Rosse, che oggi ancora dal castello di Birr, presso Parsonstown in Irlanda, scruta con successo il cielo. Questo telescopio misura m. 16 ed il suo specchio ha il diametro di 183 cm., quindi di circa 2 metri. Esso è però così poco concavo, che se vi si sovrapponesse un disco piatto, la distanza fra esso ed il punto più profondo dello specchio non è che di 13 mm.

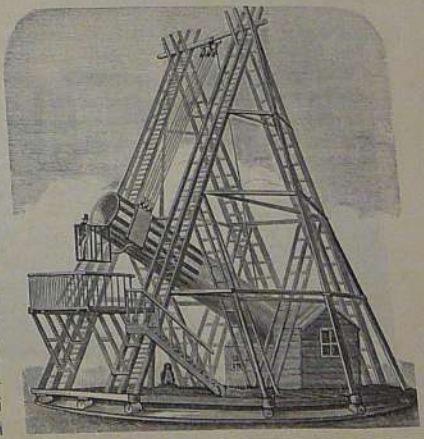


Fig. 7. — Telescopio gigante di Herschel in Bath.

Poichè lo specchio ha un diametro 336 volte maggiore di quello della nostra pupilla all'oscuro, così la quantità di luce che esso manda al nostro occhio è 366 volte 366, ossia in cifre rotonde 134000 volte maggiore di quello che senza l'impiego di questo telescopio gigante giungerebbe alla nostra retina. Per ciò anche applicando un oculare di ingrandimento lineare di 100, e quindi superficiale di 10000, a tale specchio, noi vediamo l'oggetto ancora circa 13 volte più luminoso che ad occhio nudo, e possiamo elevare l'ingrandimento lineare fino a 366 volte, senza che si verifichi perdita di luce rispetto all'occhio nudo.

Noi abbiamo parlato di lenti d'ingrandimento, senza chiarire come avvenga l'amplificazione, secondo le idee precedentemente esposte sulla natura della luce. Il vetro appartiene ai corpi detti trasparenti, attraverso ai quali la luce può passare senza scemare, ma non senza cambiare direzione. Noi non ci addentreremo, data la difficoltà della cosa, in questo argomento, ma ci basti il pensare che gli

atomi dell'etere luminifero urtando contro gli atomi o molecole, onde consta ogni sostanza, subiscono una deviazione dal loro cammino (diversa secondo la loro direzione), per poi procedere entro il vetro in linea retta secondo questa. All'uscire dal mezzo trasparente essi subiscono una seconda deviazione, ma pel senso opposto. L'entità della deviazione dipende dalla particolare costituzione del mezzo trasparente, così che sostanze diverse, ma di egual forma rispetto alla superficie esterna, portano a riunirsi in un sol punto, i raggi luminosi paralleli che le colpiscono, punto detto fuoco, che può trovarsi alle più differenti distanze dal corpo rifrangente la luce. Un vetro che possegga questa proprietà, si può convenientemente

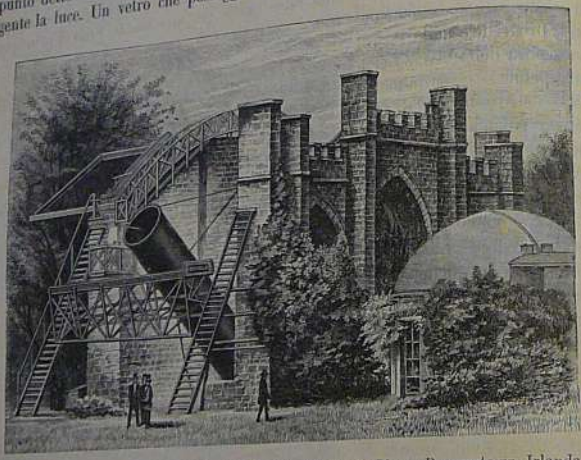


Fig. 8. — Telescopio Leviathan di Lord Rosse al castello di Birr a Parsonstown, Irlanda.

chiamare un vetro per ardere: esso, se delimitato da porzioni di superficie sferiche di raggio uguale o diverso, appartiene alle *lenti*, che sotto le più svariate forme trovano tante applicazioni nell'ottica.

Ma pel nostro scopo astronomico importa avvertire, che le varie sorta di luce si comportano in diverso modo attraversando i corpi trasparenti. Mentre davanti ad uno specchio concavo tutti i colori dell'oggetto si riuniscono in un solo fuoco; proiettando a mezzo di una lente invece dei raggi rossi sopra uno schermo, posto al punto focale, i raggi violetti rimangono riuniti in un punto alquanto indietro. Nell'urto degli atomi dell'etere luminifero, le vibrazioni luminose più corte, le violette, sottostanno alla maggior perdita di forza, le più lunghe per contro, che posseggono maggior forza viva, alla minima, quindi subiscono anche una deviazione minore di quella delle prime, dalla direzione iniziale. Segue da ciò che l'immagine di un oggetto violetto prodotta da una lente, si trova più vicino ad essa, che non quella di un oggetto rosso, distante dalla lente quanto il primo. Ora, poichè la luce bianca è una miscela di tutti i colori, così una lente darà di un

oggetto bianco non *una immagine* ma bensì una infinità d'immagini, ciascuna delle quali ha un solo colore, e così distribuite, che la violetta è la più vicina, la rossa la più lontana dalla lente, come la Fig. 9 dimostra. Sia una lente piano-convessa, che abbia in C il centro della sua superficie convessa ed in S l'estremo del raggio normale alla faccia piana, e su di essa cadano dalla sinistra dei raggi paralleli. I raggi che cadono sull'orlo della lente vengono maggiormente rifratti che non quelli che cadono presso il centro, giacchè i primi sono più inclinati sulla superficie d'uscita, sulla quale avviene la rifrazione. Nei punti d'uscita si separano i raggi di diverso colore; i raggi violetti si riuniscono nel punto d'incontro del raggio centrale C S F colla linea *ab*, i rossi sulla *cd*. Se noi immaginiamo la figura estesa alle tre dimensioni dello spazio, così che *ab* e *cd* diventino la traccia di piani sulla figura, ed i varii raggi formino altrettante superficie coniche, allora sul piano che ha per traccia *ab*, si troverà un punto violetto circondato da

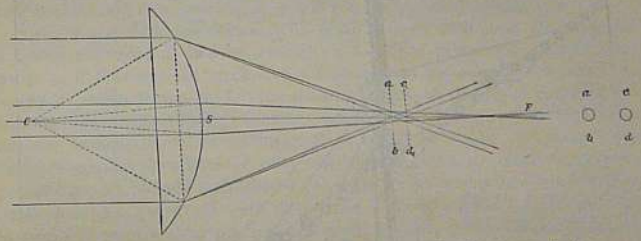


Fig. 9. — Aberrazione di sfericità e deviazione delle tinte in una lente.

cerchi colorati, il più largo dei quali è rosso. Sul piano di traccia *cd* per contro si troverà un punto rosso circondato da cerchi colorati, ma disposti in ordine inverso e tale che il circolo violetto è il più esterno. Per tal fatto le immagini diversamente colorate prodotte dalla lente, si sovrapporranno parzialmente l'un l'altra, così da presentare orli colorati che sono assai nocivi alla visione distinta. La lente non è " acromatica ".

Questo inconveniente della dispersione dei colori, fu per lungo tempo un grave ostacolo al miglioramento del cannocchiale, mentre poi l'inconveniente medesimo, quando l'ostacolo che qui presentava fu superato, doveva tornare di vantaggio incalcolabile, ma in altro campo, quello dell'analisi spettrale, al progresso delle nostre cognizioni circa la costituzione dell'universo. Mentre pertanto, molti astronomi desideravano di eliminare questa dispersione dei colori, si fu essa che ci permise di penetrare, in modo inatteso, profondamente nella struttura di corpi celesti smisuratamente lontani.

In causa di questa separazione dei colori delle lenti, gli specchi concavi si procacciarono su di essa per lungo tempo una preferenza meritata. Essi si chiamano *riflettori*, cioè che rimandano i raggi, mentre i cannocchiali con lenti, che permettono di vedere direttamente, si chiamano cannocchiali refrattori, vale a dire istrumenti che spezzano i raggi.

Non bisogna tuttavia disconoscere, che questi rifrattori, astraendo dall'accennato svantaggio, posseggono sui riflettori grandi vantaggi. Ogni specchio, che naturalmente la mano dell'uomo non può eseguire perfetto, trattiene, assorbe in proporzione molta luce, in ogni caso molto più che una lente di grandezza media. Ma noi abbiamo già veduto che nella massima parte dei casi l'astronomo desidera sopra tutto che i suoi apparecchi di visione gli procurino la maggior possibile quantità di luce. Perciò, dacchè si hanno cannocchiali (il primo fu rivolto al cielo da Galileo nel 1610) si cercò di rimediare all'inconveniente della separazione delle

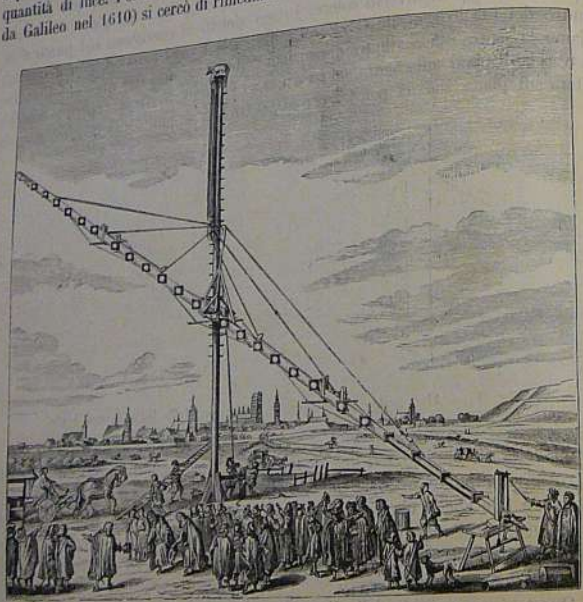


Fig. 10. — Grande cannocchiale di Evelio a Danzica. Dalla " *Machina coelestis* " di Evelio.

tinte. Sfortunatamente Newton, partendo da una supposizione sbagliata, aveva dimostrato che al suo tempo il costruire un cannocchiale acromatico era teoricamente impossibile. Sotto il peso di una tale autorità si abbandonò allora l'idea di attaccare vigorosamente la questione, ma si tentò solamente di rendere il meno importuna possibile l'inevitabile dispersione dei colori. Ciò poteva ottenersi solamente col mezzo di vetri, che rendessero i raggi di luce meno convergenti, a fine di ottenere le immagini del rosso e del violetto meno differenti, e minore la loro sovrapposizione, poichè così appariva meno indefinita l'immagine complessiva. Ma con ciò veniva ad aumentarsi la sua distanza focale e si fu così di nuovo costretti a fabbricare cannocchiali molto lunghi.

Si giunse finalmente a tal segno, che non fu possibile lo stabilire un collegamento metallico od almeno rigido, fra l'obbiettivo, la lente che è rivolta verso l'oggetto e che produce l'immagine, e l'oculare, la lente d'ingrandimento che anche nei refrattori vale ad osservare ed ingrandire detta immagine. Si appendeva in qualche sito l'obbiettivo, si lasciava che i raggi che l'avevano attraversato corressero liberi per l'aria o tutt'al più attraverso a paranchi fissi ad assicelle, e se ne cercava coll'oculare l'immagine. Così nacquero i così detti telescopi aerei, che nel 17mo secolo raggiunsero persino la lunghezza di 200 piedi, 61^m^. La Fig. 10 rappresenta un cosiffatto cannocchiale, quale fu disegnato da Evelio consigliere di Danzica, che lo costrusse. Spesso l'obbiettivo veniva anche solamente appeso ad una specie di albero maestro, e a mezzo di corde diretto in certa qual guisa; al di sotto poi bisognava, malgrado ciò, cercare coll'oculare l'immagine per assai tempo fino a trovarla. La pazienza grande, colla quale, attraverso a simili pesanti e disadatti congegni, gli astronomi di quel tempo valsero a strappare al firmamento tanti suoi segreti, è davvero degna di tutta la nostra ammirazione.

Tutte queste difficoltà vennero d'un tratto scartate da Dollond, che malgrado la teorica negazione di Newton, costrusse nel 1758 il primo cannocchiale " acromatico „. Il principio sul quale esso è fondato è ad un dipresso il seguente. Si sapeva da molto tempo che le varie sostanze trasparenti rifrangono la luce diversamente a seconda della loro densità: così ad esempio due lenti, di forma esattamente uguale, circoscritte da superficie di curvatura eguale, pure hanno fuochi differenti se sian composte di vetri diversamente densi e quindi diversamente pesanti. I vetri pesanti raccolgono i raggi più vicino alla lente di quelli leggieri. Sebbene le due qualità di vetro disperdano i colori, tuttavia i mezzi più densi lo fanno in misura assai più larga di quelli leggieri; quindi con quelli le varie immagini colorate risultano d'assai più separate.

Se pertanto si scelgono due vetri di diverso potere rifrangente, è possibile il disporli in modo che almeno alcune delle immagini diversamente colorate coincidano, così che le immagini complementari, e che riunite producono il bianco, vengano a sovrapporsi completamente. Da quanto precede appare che ciò non poteva conseguirsi se non impiegando due qualità di vetro di diverso potere rifrangente, giacchè adoperando una combinazione di lenti della stessa sostanza, ma di differente distanza focale, si poteva bensì ottenere che ove l'una gettava un'immagine rossa, l'altra ne proiettasse una azzurra, ma questa sarebbe pur sempre diversamente larga da quella, mentre le varie qualità di vetro, anche ad una identica distanza dall'obiettivo, ingrandiscono variamente, così che la scelta fra la grandezza e la tinta può sempre effettuarsi giusta, almeno approssimativamente. Dalla Fig. 11 ciò vien meglio chiarito. C è una lente *biconvessa* di *Crown* (specie di vetro). A questa se ne appoggia un'altra di *Flint* (vetro pesante che contiene piombo), *piano-concava*, cioè avente la sua seconda faccia quasi piana. La lente di vetro crown separerebbe i colori, come è rappresentato dal fascio di raggi segnato a tratti, più vicino ai vetri, per contro la lente di Flint modifica l'andamento dei raggi così che in massima parte si riuniscono al più lontano punto d'incontro. Per una certa regione circostante al raggio centrale è possibile la riunione di tutti i raggi, per i raggi laterali anche qui è impossibile evitare un errore residuo. Le proporzioni della figura sono quelle tenute per i cannocchiali astronomici,

solamente per ragione di spazio dovettero, tranne le dimensioni delle lenti, essere ridotte al decimo.

La deviazione dei raggi laterali dai raggi centrali, che sempre devono avere diversa distanza focale (V. Fig. 11) si chiama aberrazione di sfericità, perchè essa è generata dall'essere i vetri tagliati a guisa di calotte sferiche. Gli ottici moderni si adoprano, con meditate combinazioni di superficie e di qualità di vetro di comporre obiettivi, che soddisfino, per quanto è possibile, ad entrambe le richieste, che cioè, mentre riuniscono i colori, rendano l'immagine ben definita e netta anche sui lembi del campo di visione. Ma poichè tutto ciò assieme non si può ottenere, si lascia sussistere una piccola parte di ciascuno degli errori, detti rispettivamente

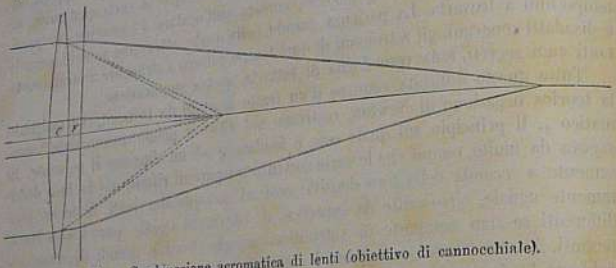
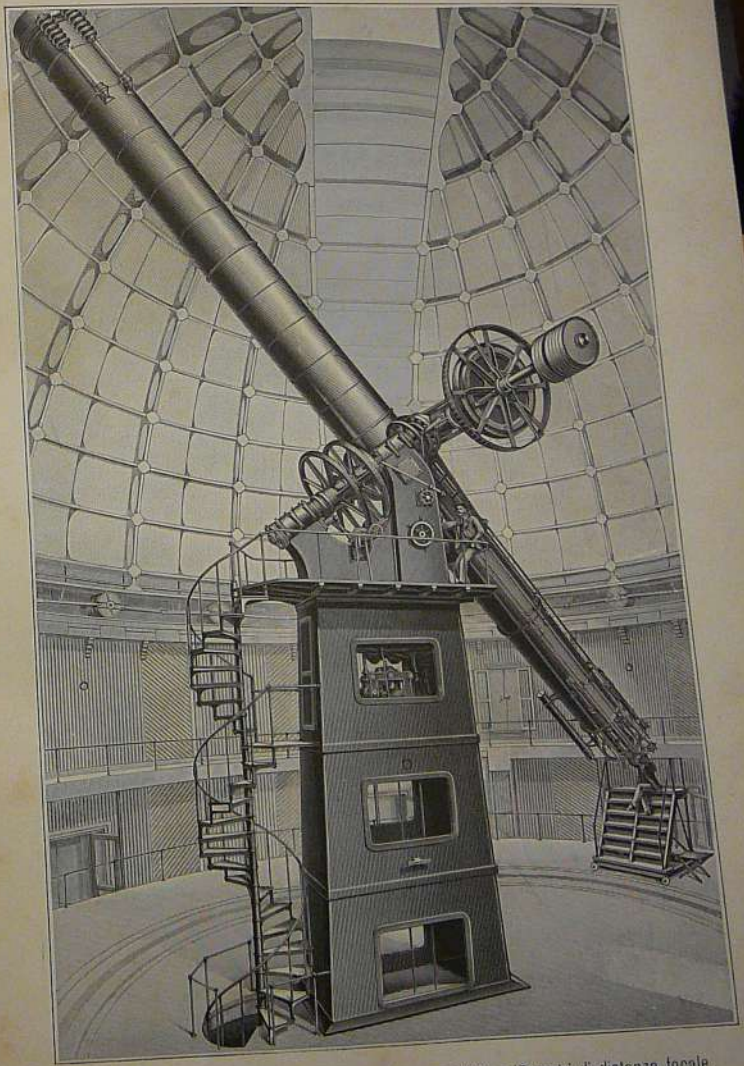


Fig. 11. — Combinazione acromatica di lenti (obiettivo di cannocchiale).

aberrazione sferica ed acromatica, riducendoli con ciò stesso ambedue da un minimo. Con tal mezzo si è in caso di fabbricare cannocchiali di distanza focale molto più corta che una volta, i quali tuttavia per potere ottico e nettezza di definizione, cioè nitidezza di disegno, superano di gran lunga gli antichi incomodi apparecchi.

Ma per produrre i perfetti cannocchiali odierni si dovette spendere molta scienza, esperienza ed abilità tecnica. Ma segnatamente si dovette porre ogni cura nel preparare qualità di vetro diversamente pesanti, ma completamente omogenee in ogni pezzo. Quindi quanto più grossi sono i pezzi che si desiderano (e noi sappiamo che dalla grandezza dell'obiettivo dipende unicamente il principale requisito di un cannocchiale, la sua forza di luce), tanto maggiori sono anche le difficoltà della produzione di un pezzo omogeneo di vetro.

Per prima cosa, il vetro allo stato fluido rovente viene mantenuto in crogiuoli d'argilla e continuamente agitato durante alcuni giorni. Durante il raffreddamento, naturalmente irregolare, la massa si divide in varii pezzi, anche a cagione della composizione irregolare del vetro. Finora non si è trovato il modo di raffreddare lentamente ed uniformemente delle masse così grandi di vetro. Dipende quindi intieramente dal caso, se spaccando il crogiuolo, dopo il raffreddamento, si trova un pezzo di vetro abbastanza grande, e naturalmente i pezzi grossi sono assai più rari dei piccoli; donde deriva che il prezzo del vetro ottico è proporzionale al quadrato del diametro. I frammenti di vetro scelti e riconosciuti utilizzabili, vengono assoggettati ad una seconda fondita, col che vien loro impartita la forma



Grande Refrattore di 36 pollici di apertura (m. 0,9144) e 15 metri di distanza focale, dell'Osservatorio Lick sul monte Hamilton, in California.

(Da una fotografia).

di uno spesso disco di vetro. Si procede poi al raffreddamento di questo pezzo più piccolo, colla massima cura, portandolo lentamente per mesi a temperature grado grado decrescenti. Quando finalmente il disco di vetro è giunto alla temperatura dell'aria circostante, viene tagliato in alcuni luoghi secondo piani paralleli, e viene sottoposto ad una minuta disamina ottica della sua costituzione. Dopo ciò molti pezzi devono di nuovo venir scartati. Quelli trovati buoni vengono fusi una terza volta, colla quale spesso si dà loro la forma approssimata che dovranno avere più tardi. È quindi la volta del raffreddamento che dura dei mesi, e solo allora il tornitore di lenti può incominciare il suo lavoro che durerà pure dei mesi.

Fino a questi ultimi anni si sapevano preparare due sole qualità di vetro a scopo ottico, il *Crown* più leggiero ed il *Flint* più pesante e contenente piombo. A seconda del potere rifrangente, ben determinato, di questi vetri (nel *Crown* il rosso ed il violetto distano fra loro solo di $^1/_{25}$ della distanza focale, nel *Flint* di $^1/_{15}$), si doveva calcolare in precedenza e secondo lo scopo la superficie, e quindi tornirla esattamente ai termini prescritti. Ma dacchè, colla protezione ed appoggio del Governo prussiano fu fondato in Jena l'Istituto tecnico vetrario di Schott e Compagnia *(Glastechnische Institut von Schott und Genossen)* nel quale dopo anni di ricerche preventive, si sanno oggi preparare qualità di vetro di qualsivoglia potere rifrangente indicato, si preferì di tenere altra via, cioè preparare le qualità di vetro corrispondenti a date curvature di lenti, capaci di rimediare per quanto è possibile ai due inevitabili errori del cannocchiale. Ciò costituisce, per l'ottica di precisione, un notevolissimo progresso.

Il massimo vetro finora preparato in tal guisa ha il diametro di 36 polici pari a millimetri 914, cioè circa un metro. Esso si trova nell'osservatorio Lick sul monte Hamilton nelle prealpi della Sierra Nevada in California, alto 1286 m. Questo grandioso strumento, che è raffigurato in una delle nostre tavole, ha tuttavia solamente una distanza focale di 15 m., vale a dire, abbondantemente appena la quarta parte di quella del telescopio aereo menzionato. Si preparò per Chicago un telescopio maggiore di questo. L'obiettivo di esso ha un diametro di 40 pollici, qualche cosa più di un metro; il tubo è lungo 18 metri.

In un cannocchiale per fermo la parte ottica è la principale, vi si riscontrano però molti ingegnosi congegni che servono a facilitarne i movimenti, a ritrovare un oggetto, ed alla precisa misura della grandezza apparente di esso. Ma per ora mettiamo in disparte tutto ciò che tanto importa pure per i più alti scopi dell'Astronomia. In questa prima parte del nostro lavoro noi considereremo nel cannocchiale solo quell'istrumento che ci permette d'indovinare alcunchè della costituzione dei corpi celesti dal loro aspetto. Più tardi, nella seconda parte, noi ci faremo a rintracciare l'ordine superiore che collega in un gran tutto i singoli individui dello spazio cosmico. Perciò ci è d'uopo tener dietro ai movimenti dei corpi celesti, nel che ci occorrono misure esatte e quei congegni sussidiari che complicati come sono servono a bisogno molto semplici ma importanti.

Il nostro scopo frattanto è raggiunto, se colle precedenti considerazioni ci siamo procurati la persuasione che il cannocchiale è veramente un ponte che ci aiuta ad attraversare una gran parte dello spazio che ci separa dagli astri. Sopra tutto è importante il riconoscere che il telescopio non può dare un'immagine falsa, distorta, e comunque vogliasi infedele dell'oggetto considerato. E poichè per quanto

riguarda gli oggetti celesti, noi non possediamo alcun mezzo di controllo, perciò noi siam costretti ad affidarci intieramente alle notizie che a noi giungono pel tramite del telescopio.

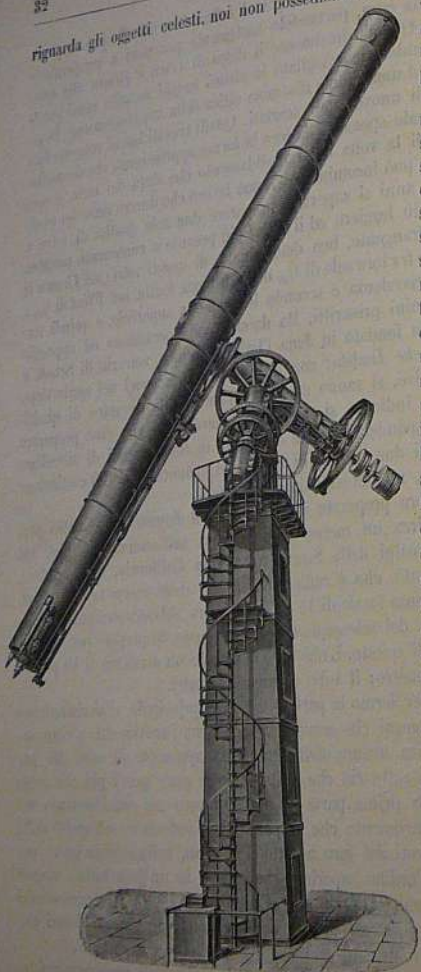


Fig. 12. — Il refrattore di 40 pollici (centimetri 101,6) dell'Osservatorio Yerkes presso Chicago. Da una fotografia.

Con un telescopio a riflessione, noi non possiamo manifestamente essere intieramente sicuri che non si producano distorsioni dell'oggetto osservato. Poichè se uno specchio concavo non ha ricevuto esattamente la forma prescritta, esso ci darà pur sempre un'immagine chiara, ben definita, ma non riprodurrà precisamente in misura ingrandita la forma dell'oggetto. Un oggetto può apparire accorciato od allungato, e quindi un corpo celeste sembrarci schiacciato, mentre in verità tale non è. Un refrattore moderno non può in nessun caso darci una simile inesatta immagine. Per chiarire ciò, rammentiamo che in tali strumenti quattro superficie concorrono alla formazione della immagine, le due superficie della lente di *Crown* e le due di quella di *Flint*, le quali tutte hanno diversa curvatura. Per poter dare una immagine netta e tuttavia sbagliata, tutte quattro quelle superficie dovrebbero essere state tornite secondo una forma contorta non identica per tutte. L'arte più sottile non riuscirebbe a ciò, e molto meno il caso o la mera negligenza. Pertanto se le azioni ottiche delle quattro superficie non coincidono più nel modo

desiderato, come avviene in sul principio del procedimento di tornitura, così ogni superficie vitrea produce un'immagine propria in luogo diverso da quello delle altre; seguirà da ciò che si vedrà un'immagine mal definita e sbiadita. Quindi quelle superficie devono essere ritoccate, finchè dopo mesi e talvolta anni di lavoro, l'immagine si mostra nel cannocchiale ben definita. Quindi si può essere ben sicuri, che fin dove giunge la sensibilità del nostro occhio coll'ingrandimento ottenuto, quell'immagine è intieramente fedele. Solamente rispetto alle tinte, che si vedono nel cannocchiale, non è concessa la completa fiducia. Noi sappiamo che le lenti separano i colori, e che noi solo con mezzi complicati riusciamo nei cannocchiali acromatici, ad ottenerne la parziale, non completa, riunione. I grandi cannocchiali moderni sono per certi motivi pratici per lo più *sottocompensati*, cioè essi lasciano sussistere alcuni raggi violetti, così che l'imagine vi appare come avvolta in un sottile velo violetto, velo che può offuscare alcune tinte. Quindi per questo rispetto il riflettore, lo specchio concavo è superiore al refrattore, giacchè sappiamo che quello non disperde i colori. Quindi i riflettori ci riproducono meglio i colori, i refrattori la forma.

Tutti questi congegni per guardare ci avvicinano di tanto alle stelle, di quanto essi ingrossano; per un oggetto terrestre ciò è facile a constatare. Noi possiamo misurare, se non lo credessimo senz'altro, e verificare che un oggetto qualunque ci appare più grosso, a misura che noi vi ci accostiamo. Quando ad esempio il disco di un bersaglio a 10 m. di distanza è così grande, da venir coperto da un pezzo da 10 centesimi, che noi teniamo dall'occhio alla distanza della visione distinta; per coprirlo esattamente quando sia trasferito a 20 m. da noi, dovremo prendere un pezzo di moneta, che sia largo la metà del primo; e che sia un terzo di quello, se lo portiamo a 30 m. e così via. Quindi se riusciamo a vedere l'immagine di un corpo celeste con un ingrandimento di cinquecento volte, ciò equivale all'accostarsi ad esso di un cinquecentesimo della sua vera distanza. Vedremo più avanti che la Luna dista da noi di 384.420 chm., con un ingrandimento di cinquecento volte, noi ci avviciniamo ad essa così da non distarne più che di 769 chilometri, ossia 384,420 : 500. Noi abbiamo così gettato, a mezzo del cannocchiale, verso la Luna un ponte, che è lungo non meno di 383,651 chilometri. Ma esso s'arresta qui nello spazio, ed in spirito noi dobbiamo saltare a piè pari gli ultimi 769 chilometri.

Si capisce però facilmente, come si tenti di prolungare questo ponte il più che si può, per poter, se è possibile, ridurre quei 769 chilometri ad una parte minima: e ciò si può ottenere unicamente coll'accrescere la forza d'ingrandimento del cannocchiale. Per scorgere la luna, come se distasse da noi di sette od otto chilometri, noi dovremmo avere un cannocchiale che ingrandisse 5000 volte: e ciò fu da alcuni ignoranti ritenuto possibile solo coll'elevare la forza d'ingrandimento dell'oculare. Essi ragionavano così: poichè l'immagine dell'oggetto è formata al fuoco dell'obbiettivo, non si ha che porre microscopio sopra microscopio, per vederla sempre più ingrandita. È risaputo che un visionario francese sperava di poter con quel modo fabbricare un cannocchiale che ci facesse vedere la Luna alla distanza di 1 m. Ma si sa che l'ingrandimento di un oggetto celeste è limitato dalla contemporanea diminuzione della luminosità dell'immagine prodotta. Per accrescere del pari questa luminosità bisognerebbe dare all'obbiettivo delle

dimensioni favolose. Così per tradurre in atto il progetto francese occorrerebbe un obbiettivo di un mezzo chilometro di diametro, ed il corrispondente tubo dovrebbe essere grosso almeno il decuplo della torre Eiffel.

I nostri moderni ingegneri dicono superbamente che oggi non vi sono più difficoltà tecniche. Ammettiamo quindi che il fantastico progetto sia realizzato, e che si riesca a costrurre il ponte ottico che ci porterà ad un metro di distanza dalla Luna, ed in una notte serena guardiamo con esso il nostro fedele compagno. Quale sarebbe la nostra meraviglia prima, e la nostra disillusione poi. Un ammasso di cose indistinte, indefinite, in forma di nubi s'agita innanzi ai nostri occhi. A primo aspetto potremo prendere tutto ciò per nebbia che avvolge la luna, o per il moto della vita alla sua superficie: ma ben tosto ci faremmo accorti, che dinanzi a noi non sta, assolutamente, null'altro che la nostra atmosfera, che qual denso velo in moto incessante ci avvolge.

Anche nei massimi cannocchiali, si manifesta in modo sensibile quest'azione disturbatrice del nostro involucro gassoso. Lo strato aereo forma come un'altra lente d'ingrandimento, che la natura dispone in superfluo sui nostri cannocchiali, giacchè si sa che tutte le sostanze deviano i raggi luminosi dalla loro via. I raggi delle stelle che dallo spazio vuoto penetrano nella nostra atmosfera, vengono in essa rifratti non altrimenti che dalla lente obiettiva, ma solo, data la tanto minor densità dell'aria, in misura molto più tenue. Questa, che vien detta rifrazione atmosferica, viene in ogni ricerca astronomica presa in attento esame, ed intorno ad essa parleremo in disteso più avanti. Ora se l'atmosfera fosse sempre paragonabile con un vetro ottico, essa non presenterebbe alcuna difficoltà alla vista, solo assorbirebbe un pochino più di luce e nulla più. Ma sfortunatamente ci accorgiamo che ci sta dinnanzi un vetro molto mal fuso e peggio raffreddato. In un siffatto vetro si notano le cosi dette *falle*, luoghi dove la trasparenza è uguale a quello della rimanente parte; ma che lasciano passare la luce in un altro modo, cosi da deformare l'oggetto. Noi sappiamo che ciò dipende dalla densità del vetro, che in quei luoghi non è uniforme, a cagione del che i raggi vengono variamente rifratti. Per di più nell'aria queste *falle* sono mobili. Ora, quando nell'aria si verificano tali condizioni, il raggio luminoso devia dalla sua primitiva direzione, alla quale però ben tosto ritorna, essendo quello stato atmosferico instabile; così l'immagine di un oggetto celeste di diametro apparente sensibile coi cannocchiali che ingrandiscono fortemente, appare sempre ondeggiante, come se esso fosse liquido. Questo fenomeno è generalmente molto pronunziato col Sole; esso è infatti la causa del riscaldamento dell'aria, ed assieme alle disuguaglianze della superficie terrestre, quella delle condizioni instabili della nostra atmosfera. Il disco del Sole appare spesso, nel cannocchiale, come una bandiera spiegata che il vento agita. Anche le stelle fisse, che per noi sono assolutamente punti senza dimensioni, emettono allora dei raggi in tutte le direzioni.

Si intende di leggieri come questa agitazione delle immagini impedisca assai di vedere distintamente, e che faccia scomparire quasi intieramente i più minuti dettagli. Questo inconveniente si fa tanto maggiormente sentire, quanto più noi adoperiamo forti ingrandimenti, perchè al pari dell'immagine vengono ingrandite le sue deformazioni. Anche la grande luminosità dei grandi cannocchiali accresce quell'azione disturbante, giacchè per essa le differenze di luce prodotte dalle anomalie

atmosferiche si fanno più notevoli. Noi ammetteremo quindi facilmente che per rispettto alla netta visione delle particolarità di oggetti abbastanza lucenti, i cannocchiali di dimensioni medie danno spesso risultati ben migliori di quelli dei nostri giganteschi congegni di osservazione moderni. Gettiamo perciò un'occhiata sulle due seguenti rappresentazioni del pianeta Marte. L'una fu disegnata guardando Marte con un obbiettivo di otto pollici, appartenente al cannocchiale di Schiaparelli in Milano, che si può annoverare fra quelli di grandezza media, e l'altro all'epoca medesima col più grande refrattore del mondo a quel giorno, un " ventiquattro pollici „, esistente in Washington [1]. Ora quest'ultimo refrattore ha un vetro triplo del primo, e quindi una luminosità teorica nove volte maggiore, ma con tutto ciò l'osservatore milanese vide ben più numerosi dettagli che l'americano.

Si avverta però che la grandezza del vetro è solo una delle circostanze che produssero quell'inferiorità; il cielo trasparente di Milano e le sue migliori condizioni atmosferiche, e poi, l'occhio essenzialmente pratico di Schiaparelli, concorsero potentemente a procurare a questi migliori risultati. Schiaparelli stesso fece in questo campo delle notevoli prove. Le sue molte scoperte, intorno alle quali molto dovremo discorrere, fecero che il governo italiano, quasi a rimeritarnelo, fornisse l'osservatorio di Milano da lui diretto di un cannocchiale di diciotto pollici. Con questo cannocchiale cinque volte più potente del primo, e di eccellente fattura, egli constatò, come d'altronde s'aspettava, che non vedeva su Marte, a lui così famigliare, tanti dettagli, quanti col piccolo più antico. Solamente più tardi potè egli col nuovo ottenere migliori risultati. Quanto più largo è l'obbietitvo, tanto più raramente si riscontrano condizioni atmosferiche abbastanza tranquille e regolari da permettere la visione distinta; si è perciò che all'osservazione delle particolarità di oggetti celesti lucenti, si possono applicare ben più di rado i grandi che i piccoli istrumenti.

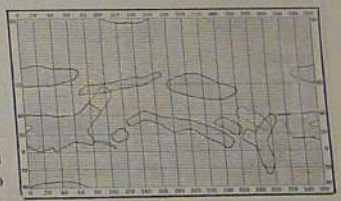


Fig. 13. — Marte, secondo le osservazioni di Washington nel 1877. Dal " Pianeta Marte „ di Flammarion.

Ma più d'ogni altra cosa è necessario ad indagini astronomiche proficue, un buon stato atmosferico; e con ciò non s'intende solamente un cielo senza nubi: spesso all'occhio nudo il cielo si mostra del tutto sereno, mentre una sola occhiata attraverso al cannocchiale ci rivela che l'aria delle alte regioni a noi sovrastanti è in moto vivissimo; in esse vanno vagando le irregolarità atmosferiche, così che l'oggetto celeste che si osserva appare nel cannocchiale oscillante. Sopratutto quando le stelle scintillano vivaci, e quasi sembrano invitarci a osservarle, l'osservazione col cannocchiale riesce meno buona. La scintillazione stessa è una conseguenza dei forti spostamenti dei raggi luminosi in vario senso, che l'occhio nudo già avverte in qualche misura. Spesso le stelle si mostrano tran-

(1) Il pollice inglese vale metri 0,0254. (N. d. T.)

quille all'occhio nudo, così che anche l'occhio esperto dell'astronomo ne resta ingannato, finchè non rivolge al firmamento il suo cannocchiale. Lo stato d'agitazione che occasionalmente si constata nell'atmosfera, è non fallace indizio di tempo cattivo imminente. Quando per contro il tempo, dopo un'abbondante pioggia temporalesca si è calmato, e l'equilibrio atmosferico si è ristabilito, e la pioggia ha prodotto un regolare stato calorifico, ed ha purificato l'aria dal pulviscolo, allora l'involucro atmosferico, come liberato dal velo, permette per parecchie ore una profonda investigazione dei segreti celesti, così che all'astronomo le scoperte riescono facili assai.

Chi occasionalmente, visitando un osservatorio, guarda attraverso ad un grande cannocchiale, rimane deluso. Poichè nelle ore della sera, nelle quali gli è concesso

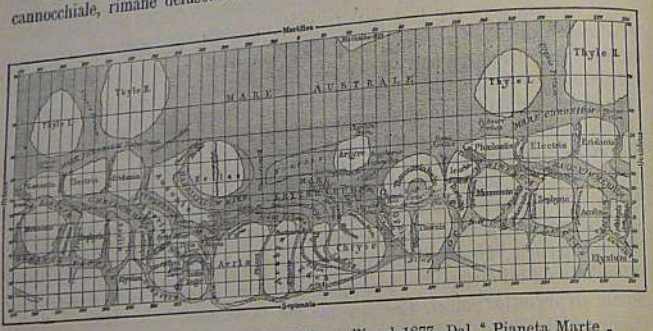


Fig. 14. — Carta di Marte, eseguita da Schiaparelli nel 1877. Dal " Pianeta Marte " di Flammarion.

l'ingresso all'osservatorio, l'aria raffreddatasi rapidamente dopo il tramonto, solo assai di rado è abbastanza tranquilla da permettere una veduta non perturbata, sopratutto all'occhio non abituato, così che egli non scorge neppure traccia di quelle mirabili particolarità che trovò rappresentate nei libri. Queste minutezze si possono scorgere solo dopo una lunga paziente preparazione ed in circostanze particolarmente favorevoli. William Herschel, che aveva collocato il suo celebre gigantesco telescopio nelle vicinanze di Londra, si lagnava che in tutto l'anno solo poche ore fossero tali, così da poter impiegare il suo potente istrumento con vantaggio su quelli di medie dimensioni.

La vicinanza però di quella gigantesca città colle sue famose nebbie, non era certo sito conveniente per collocarvi un così grande strumento. Appunto per queste difficoltà che l'aria oppone alla visione netta, oggidì si sceglie colla più attenta cura il luogo ove si debbono collocare i grandi cannocchiali, e certamente si avranno grandi vantaggi ove li si possa stabilire sopra un monte. Colà è in gran parte scartata l'influenza nociva dell'atmosfera; gli strati più densi, vaporosi, agitati, stanno al di sotto dell'osservatore, e sopra lui le regioni uniformemente riscaldate e mosse dell'involucro gazoso. Per questo rispetto il più grande cannocchiale del mondo all'Osservatorio Lick sul Monte Hamilton (vedi Fig.15)

è anche il meglio situato dei massimi cannocchiali oggi in attività. Esso non sta in vero sopra una montagna molto elevata (solo 200 m. più del Brocken, così che solo la quinta parte dell'atmosfera gli è sottoposta), ma la vicinanza del mare vi è particolarmente giovevole per la sua azione di riscaldare uniformemente, oltre che la conformazione del suolo della regione favorisce il regolare movimento dell'aria. Lungo e vicino alla costa del Pacifico, s'innalza una catena di alture, cui

Fig. 15. — Osservatorio Lick sul Monte Hamilton, California; durante l'inverno. Da una fotografia.

tien dietro un avvallamento, seguito da una catena montagnosa, alla quale appartiene il Monte Hamilton. Le alture della costa fanno deviare verso l'alto il vento di mare e riparano quella valle di San Josè, che per conseguenza possiede un clima più caldo e secco di quello della vicina costa di San Francisco. Questa valle si può pertanto paragonare ad una stufa, dalla quale costantemente s'innalzano verso le pendici del Monte Hamilton delle correnti d'aria calda e secca.

L'Osservatorio dell'Etna (Fig. 16) sta a soli 350 metri sotto la vetta del potente vulcano ad un'altezza di 2942 m. La città più vicina è Catania; da essa 18 chilometri di vettura conducono a Nicolosi, donde in sei ore di cavalcatura, ben spesso attraverso a selvaggi campi di lava, si giunge a quel solitario rifugio della scienza. È impossibile il dimorarvi tutto l'anno: solo nelle più miti stagioni vi salgono

alcuni astronomi dell'Osservatorio di Catania, seco portando l'obbiettivo del grande cannocchiale di quell'osservatorio che ha un diametro di 35 centimetri.

Gli astronomi francesi s'arrischiarono salire ancora più in alto, sul punto più alto d'Europa, il Monte Bianco (4810 m.), ove sotto la direzione di Janssen costrussero un osservatorio (Fig. 17) destinato specialmente alle ricerche spettroscopiche.

Ma oggi l'osservatorio più alto del mondo, ed in attività tutto l'anno, è quello detto Stazione Boyden presso Arequipa, sull'altipiano peruviano, a 2457 metri di

Fig. 16. — L'Osservatorio sull'Etna. Da una fotografia.

elevazione. Esso giace nella zona tropicale, nella quale sono visibili pressochè egualmente bene le stelle dei due emisferi celesti. Quegli astronomi non sanno apprezzare a sufficienza la purezza e la tranquillità di quel cielo. Essi raccontano che colà, ad occhio nudo, si possono facilmente scorgere stelle di sesta e settima grandezza, mentre da noi, un occhio pratico, appena vede con fatica quelle di sesta. Ciò vuol dire che colà si possono vedere molte migliaia di stelle più che presso di noi, circa il doppio di quanto se ne conterebbe qui, in un egual campo. Nel gruppo delle Pleiadi colà si vedono undici stelle, da noi cinque. La famosa nebulosa d'Andromeda che qui solo nelle più chiare notti si discerne come un pallido bagliore staccantesi dal fondo del cielo, appare ad Arequipa più grossa della Luna: e la luce zodiacale che noi vediamo sì di rado, vi è così intensa, che

gli assistenti peruviani dell'osservatorio la scambiavano colla via lattea. Naturalmente questa straordinaria trasparenza del cielo, giova anche alle immagini del telescopio, mentre si possono vedere relativamente più cose che coll'occhio nudo. Ad Arequipa anche con un ingrandimento di 400 ben di rado si vedono ondulare gli orli degli oggetti celesti, ed in realtà, quell'osservatorio, che lavora da pochi anni, può vantarsi di notevoli risultati nello studio di Marte, sui quali dovremo tornare altra volta.

Ma mentre innalzandoci sugli intimi e vaporosi strati dell'atmosfera noi scartiamo i menzionati difetti dei grandi vetri, rimangono ancora alcuni effetti, che i

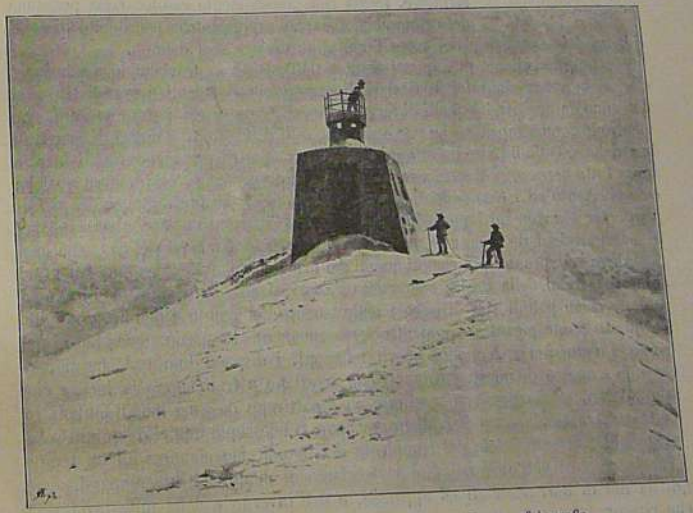


Fig. 17. — L'Osservatorio sul Monte Bianco. Da una fotografia.

vetri medi non subiscono. Ed in questa direzione prima a presentarsi è l'irradiazione. È notorio, che gli oggetti bianchi sembrano sempre più grossi di eguali oggetti neri, come lo provano i due cerchi eguali della Fig. 18. Sulla nostra retina la luce si sovrappone all'ombra. La stessa cosa avviene e per lo stesso motivo, come il fotografo constata spesso sulle sue lastre, quando egli ha fatto una fotografia con luce troppo viva, e con una esposizione troppo lunga, la luce s'addentra nell'ombra. Il fotografo può però evitare ciò, diminuendo a mezzo di schermi la luce che entra per l'obbiettivo. Linee molto sottili degli oggetti celesti, come ad esempio i canali di Marte, possono venir completamente coperte da questa luce invadente, quando le parti circostanti irradiano fortemente attraverso il vetro. In questo caso non c'è altro a fare che imitare il fotografo, ed acciecare in parte l'obbiettivo, col che lo si riduce al grado dei corrispondenti piccoli cannocchiali, e non ha maggior efficacia di essi.

Un altro inconveniente dei grandi obiettivi, è la loro non completa durezza. Per quanto poco pieghevole ci sembri il vetro, tuttavia è d'uopo riflettere, che non si danno proprietà assolute, quando si vuol raggiungere il grado di precisione che l'astronomo pretende. Gli obbiettivi devono, per l'uso cui sono destinati, essere sempre molto più spessi nel mezzo che non all'orlo. I grandi vetri obiettivi di oggi pesano parecchi miriagramma, e tutto il peso sta nel mezzo; l'orlo sottile s'inflette un pochino, ed il vetro prende in conseguenza una forma diversa da quella che gli ha dato il costruttore, forma che generalmente cambia colla posizione del cannocchiale. Ma noi sappiamo che per difetto di coincidenza delle superficie del vetro l'immagine diviene mal definita.

Fig. 18. — Illusione ottica prodotta dall'irradiazione.

Se noi raccogliamo tutti questi risultati dell'esperienza, troviamo in conclusione, che per le osservazioni dei particolari di oggetti celesti lucenti, i grandi telescopi non sono da preferirsi a quelli di forza mediocre, come si era potuto presupporre, mentre lo sono sempre, anche per osservazioni di dettaglio, trattandosi di oggetti di luce debole. Quindi se un oggetto minaccia di scomparire per mancanza di luce, è sopra tutto necessario di farlo divenire più luminoso, per potervi vedere qualche cosa. Pertanto se i cannocchiali medi, ci offrono con alcuni vantaggi, dei piccoli ponti, per giungere ai mondi del nostro domestico sistema solare, e rintracciarvi le manifestazioni della grande unità cosmica, le potenti chiavi del cielo che oggi possediamo ci aprono i più remoti angoli del firmamento, ove constatiamo, che fino ai limiti estremi della nostra conoscenza s'accumulano mondi sopra mondi, fino a perdersi come pallidi veli di nebbia nelle tenebre dell'ignoto e dell'inconoscibile. Ma questo ponte gigantesco non attraversa solamente lo spazio, ma si lancia nel tempo. Quanto noi vediamo in questi telescopi, i dispacci luminosi che ci pervengono a mezzo di questi strumenti che arrestano e trattengono la luce, e che solo col loro mezzo possiamo decifrare, si dipartirono da quei mondi lontani, in molti casi, centinaia e migliaia d'anni or sono. Il telescopio non ci dà quindi solamente un'immagine fedele del complesso dei mondi, ma ci narra ad un tempo l'istoria cosmica dell'universo. Noi vi leggiamo di mondi nati e scomparsi, come qui da noi di fiori sbocciati ed appassiti, e dell'inverno e della mite primavera che ritorna.

A quelle ultime profondità solo giungono i nostri massimi strumenti. Quindi per sprofondarci ognor più nello spazio e nel tempo, occorrono strumenti sempre più potenti. Ma per meglio conoscere i mondi più vicini del nostro sistema solare, non fa d'uopo usare simili straordinari congegni, che costano milioni; anche un privato può costrursi un ponte per giungere a questi nostri mondi fratelli, e non solo per suo particolare diletto, ma anche per fare ricerche che apportino all'astronomia nuovi ed importanti dati. E molti di questi sono dovuti al lavoro intelligente e ben diretto di dilettanti, che pure erano provveduti solo di piccoli cannocchiali.

Noi vedemmo, quanti vantaggi arrechino i cannocchiali all'interpretazione dei dispacci luminosi che gli atomi vibranti ci trasmettono dai lontani mondi dello spazio. Poichè il nostro occhio era incapace di fare ciò da solo, e che fu necessario aiutarci con strumenti, fattura della mano dell'uomo, così era naturale che

sarebbero apparse alcune cause d'errore, delle quali era necessario scoprire l'origine, prima di trarre le ultime conseguenze da quanto si scorge nei cannocchiali.

Queste cause d'errore non sono ancora esaurite, in quanto precede. Anche col migliore dei cannocchiali e colle più favorevoli condizioni atmosferiche l'immagine di una stella fissa non è tale da coincidere colla verità, ma così fatta da poter produrre un'assai curiosa illusione. Noi c'imbatteremo, andando innanzi, in dimostrazioni sufficienti a chiarirci che le più prossime di queste stelle fisse distano pur sempre da noi, le cento e le mille volte, più del nostro sole; malgrado ciò nel cannocchiale, esse presentano ancora un disco rotondo, di diametro ben sensibile. Ora se questo provenisse dalle dimensioni delle stelle, si dovrebbe conchiudere che esse sono ben maggiori del sole. Ma poichè esse sono soli come il nostro, sarebbe lecito il pensare che noi abitiamo uno dei più piccoli sistemi solari, al quale la natura fu ben matrigna. Ciò, che pure non sarebbe impossibile, ben diversamente procede in realtà. Si applichino infatti a questi diametri delle stelle fisse diversi ingrandimenti, quali quelli che ci mostrano tante particolarità sulla luna, sul sole e sui pianeti, e che ci fanno scorgere relativamente ingrossate quelle nebulose che sebbene del pari enormemente lontane, ci si mostrano estese nel cannocchiale; ebbene quelle immagini stellari non diverranno più ampie, ma considerate con mezzi ognora più forti, sempre manifestamente più strette.

Fig. 19. — Anelli di interferenza.

Si riconosce da ciò, che si tratta solo di un effetto d'apparenza, del quale importa assai ricercare le cause, poichè per esso a noi si fanno innanzi fatti inesatti. Quanto precede ci insegna senz'altro che una di quelle cause è l'irradiazione. Quanto più un punto, che viene a dipingersi sulla nostra retina, è luminoso, tanto più illuminerà il suo contorno, così da mostrarci un disco. Ma poichè anche le stelle di debole luce, sulle quali questa irradiazione non può agire nella misura occorrente, mostrano un diametro, così è da giudicare che altre cause ciò producano. Una sta in quella proprietà delle superficie dei vetri dell'obiettivo che abbiamo già denominata aberrazione di sfericità. Il fuoco dell'orlo del vetro è diverso da quello del mezzo, quindi si formeranno immagini delle stelle, non in un unico sito, ma attorno ad una posizione media, il cui complesso produce il disco apparente della stella.

Ma osservando meglio si nota, che anche nelle migliori condizioni atmosferiche ed ottiche l'immagine di una stella fissa è circondata da una parvenza notevole, che non valgono a chiarire le menzionate cause. Quella parvenza è costituita dagli anelli d'interferenza. La Fig. 19 mostra questo fatto, naturalmente molto esagerato, giacchè qui, come pel diametro apparente delle stelle, si ha a che fare con quantità piccolissime. Questi anelli d'interferenza sono effetto di deviazioni, o come suol dirsi di inflessioni dei raggi di luce, che non avvengono più sui vetri stessi, ma sui loro supporti metallici, e sugli orli dei diaframmi; questi vengono introdotti nel tubo per ovviare alle irradiazioni mutue fra l'obbiettivo e l'oculare, come per escludere dalla produzione dell'immagine i raggi rifratti dalle parti periferiche dell'obiettivo, che come l'esperienza insegna, sono generalmente tagliate meno esattamente. Le conseguenze di quell'inflessione dei raggi si riconoscono facilmente

in una serie di anelli concentrici e di chiarezza rapidamente decrescente, che sono separati da anelli oscuri, ma non nettamente distinti. Il primo di questi anelli lucenti tocca intorno intorno la stella e la converte in un disco. Questo fenomeno non varia col variare degli oggetti: ogni raggio, qualunque ne sia d'altronde la provenienza, viene spezzato in questa guisa agli orli del cannocchiale. Segue da ciò che anche gli altri corpi celesti debbono produrre anelli d'interferenza, e quando non sono visibili, ciò indica che la loro luce è troppo intensa, così che predomina l'irradiazione, nella quale si perdono i deboli anelli. Effettivamente però, le due cause, l'irradiazione e l'interferenza, concorrono ad ingrandire apparentemente i diametri dei corpi celesti.

È perciò di grande importanza l'indagare queste cause d'errore e ricercarne anche quantitativamente l'effetto, al che finora non si giunse in modo soddisfacente. Noi sappiamo solamente che in generale otteniamo dei diametri degli astri alquanto troppo grossi, e che il risultato è tanto più prossimo al vero, quando più largo è l'apertura dell'obiettivo del cannocchiale impiegato, giacchè così è manifestamente molto minore la proporzione dei raggi provenienti dal lembo, alla quantità totale di luce concentrata. Per fortuna l'importo di questi ingrandimenti fallaci è estremamente tenue, e tanto da appartenere a quella categoria di quantità che stanno già al limite estremo cui possono giungere i sensi e le misure dell'uomo. Gli astronomi però s'adoprano con tutta la loro sagacia a scartare anche queste cause di minimi errori, ed i risultati che essi ottengono da questo lavoro sopra spessori di capello, costituiscono il più elevato trionfo della loro scienza. Più tardi impareremo a conoscere alcune delle vie tenute per giungere alla conoscenza di quantità così minime.

Fra le cause d'errore nell'uso del telescopio sono da annoverarsi anche quelle dell'occhio, e dell'apprezzamento soggettivo; su ciò non ci fermeremo ora, ma vi ritorneremo man mano che se ne presenterà la circostanza. Come regola generale però si ritenga, che il *vedere* astronomico è un mestiere che non s'impara facilmente: già anche il vedere usuale deve essere appreso. Così, ad esempio, gli animali stessi più intelligenti e dotati di migliore vista, non si riconoscono sui quadri, il racconto dell'uva dipinta alla quale beccavano i passeri è una favola. Appena di rado, gli animali domestici badano alla loro immagine negli specchi. Ciò dipende unicamente da leggerezza di osservazione di oggetti che non li interessano, per nulla da mancanza di una facoltà di distinzione. Lo stesso avviene per i bambini, per i quali i più splendidi quadri non sono da principio altro che superficie imbrattate di colori e senza significato. Solo poco per volta cominciasi a far differenza fra oggetti qualunque, ma fra quelli che il bambino conosce. La persona inesperta è come un bambino, di fronte alle profonde delicatezze dei quadri che tanto piacciono all'artista. Questi però può aiutarci ad intenderle, facendole osservare. Ciò è del tutto impossibile all'astronomo. Pur astraendo da ciò, che egli non può additarci col dito gli oggetti celesti lontani, quelle particolarità per lo più in causa dell'agitazione dell'aria non sono visibili che per un momento, e l'orientamento non riesce. Spesso anche astronomi pratici trovano difficoltà a vedere certe cose, che vede facilmente un altro astronomo il quale da molto tempo si occupi di quell'oggetto.

Le figure di questo libro rappresentano i mondi stellati, come si presentarono all'occhio paziente dell'astronomo, nelle ispezioni meglio riuscite, o come le raffigurò l'arte della fotografia.

---

3. — LA FOTOGRAFIA CELESTE

Si paragonò la camera fotografica coll'occhio, e fu detto che essa poteva sostituirlo. Il paragone zoppica, come qualsiasi altro. La fotografia può unicamente trasferire ad altro tempo il lavoro del nostro occhio, inevitabile in ogni circostanza, allungarlo od accorciarlo, e con ciò in certa qual guisa acuirlo, come in altro senso fa il cannocchiale. Ma alla fin fine, direttamente od indirettamente ogni conoscenza del mondo celeste, deve entrare nel nostro spirito per le porte degli occhi. La lastra fotografica, che si risente più rapidamente del nostro occhio, diviene quasi un microscopio, non per lo spazio, ma per il tempo, e contemporaneamente un ricordo, che conserva per qualsivoglia tempo fedele ed inalterata quella impressione.

Quegli atomi vibranti, che suscitano nel nostro occhio la sensazione della luce, lasciano sulla lastra sensibile un'impressione più durevole che sul nostro occhio; la lastra registra quanti di essi ed in quali distanze giunsero a noi. Non nuoce al nostro scopo il fatto che la lastra rivela solo il numero e la posizione, non la natura delle vibrazioni; ossia in altre parole rivela unicamente l'intensità luminosa dei corpi celesti e la loro forma proiettata sopra un piano, e non nuoce perchè noi nell'analisi spettrale possediamo un mezzo, di squisitezza non prima pensato, di investigare nel modo più certo tutte le sfumature delle tinte di quella luce che ci vien dalle stelle.

Però in complesso il paragone dell'occhio ad un apparecchio fotografico torna assai bene. Ma si può ancora andare più oltre, e paragonare l'occhio non solo colla *camera oscura*, ma anche con la camera buia ove lavora il fotografo. Infatti nell'occhio oltre gli ottici si svolgono anche procedimenti chimici, i quali in ogni aspetto in parte ed anche in principio coincidono con quelli che noi impieghiamo, per fissare sulla lastra esposta l'impressione prodottavi dalla luce. La retina viene a determinati intervalli spruzzata da un fluido porporino, la porpora della vista, nel punto ove il cristallino riproduce l'immagine: quel fluido è senza dubbio sensibile alla luce, sebbene non si sia ancora arrivati a conoscerne la natura chimica. Da ciò segue che il nostro occhio vede molto meglio, quando noi lo lasciamo in precedenza riposare alquanto. Di giorno entra in giuoco anche un'altra causa, ed è l'allargarsi della pupilla, che avviene spontaneamente quanta minor luce entra nell'occhio. Noi limitiamo la luce colla pupilla non diversamente da quanto fa il fotografo. Ma anche di notte quando la pupilla non muta più la sua apertura, noi vediamo molto meglio, ed avvertiamo deboli impressioni luminose, quando per qualche tempo prima abbiamo tenuti gli occhi chiusi. L'astronomo si comporta bene spesso così, e dà al suo occhio un riposo completo di 10-20 minuti; durante questo intervallo la porpora della vista si rinnova in larga parte, la lastra fotografica dell'occhio viene rivestita di uno spesso strato sensibile.

La natura si è fermata al sistema delle lastre umide, ormai fuori d'uso in fotografia, ma d'altra parte negli organismi viventi è impossibile immaginare qualsiasi procedimento a secco. Ma l'invenzione della lastra secca costituisce un enorme passo avanti sulla lastra umida: quasi tutti gli aiuti che oggidì la fotografia porge alla scienza, sarebbero stati impossibili colla lastra umida.

La lastra secca, inventata da Maddox nel 1871, somma le impressioni della luce entro limiti molto estesi di tempo, che per contro colla lastra umida si restringono d'assai, e con l'occhio il massimo dell'azione si raggiunge da noi quasi istantaneamente. Su ciò si fonda la differenza essenziale fra l'occhio e l'apparato fotografico. Ciò che l'occhio non può vedere subito, esso non lo vedrà nè dopo un secondo, nè dopo un minuto; all'opposto, anzi, il fissare a lungo un medesimo punto, stanca l'occhio e ne rende la visione sempre meno distinta. La lastra secca invece, nota, almeno entro limiti più estesi, tutte le onde luminose che vengono a colpirla, e nel suo linguaggio figurato ci dice, quanti di quei messaggieri celesti giunsero in un determinato tempo a ciascun punto della sua superficie sensibile. Ma da precedenti considerazioni noi sappiamo, che pure questa numerazione della quantità di atomi luminosi vibranti, che a noi vengono mandati dalle stelle, è il più importante, e prima della scoperta dell'analisi spettrale, era l'unico fondamento sul quale noi basiamo la nostra conoscenza dell'universo.

Ma come avviene quella numerazione a mezzo della lastra fotografica? Per rispondere a questa importante domanda, facciamoci ad esaminare quanto succede sulla lastra durante l'esposizione. Come si sa la lastra è rivestita di un sale d'argento, che ha la proprietà di scomporsi sotto l'azione della luce, producendo, oltre ad altri composti chimici, che qui non c'interessano, dell'argento metallico, la cui polvere è nera. Ma questa sostanza sensibile non è distesa come un tutto regolarmente sulla lastra, ma compenetrata con le sue granulazioni, in forma di emulsione, così da esservi tenuta a mezzo di una materia, che forma una pellicola durevole. Questa, prima fu di collodio, ora è di gelatina: che però nel processo ha una parte affatto secondaria. Ora, come si comprende, i granelli d'argento non anneriscono, se non quando sono scomposti nei loro elementi dalle vibrazioni luminose, cosicchè l'immagine fotografica, di soli puntini minuti, di spessore perfettamente eguale alla tinta, e solo il suo più spesso o più largo scomporsi e suddividersi, produce la gradazione delle ombre, non diversa da quella della difficile tecnica dell'incisione in acciaio od anche di taluna specie di incisione in legno. Ma questa distanza dei granelli sopra la lastra fotografica fra loro è così tenue, che solo col microscopio la si può constatare, e si trova che essa è di circa sei millesimi di millimetro. L'esistenza di questa specie di granulazione non è un inconveniente, perchè anche il nostro occhio ne è fornito: il nostro occhio scompone tutto il mondo in un mosaico colorito. Ma a tutto rigore il mondo non solo appare come un tale mosaico, ma lo è anche in realtà. Dinanzi all'occhio della mente, tutti gli oggetti, che nella nostra tendenza all'unità siamo avvezzi a ritenere come un tutto, si risolvono in miriadi di atomi esistenti di per sè, che solo per virtù di relazioni preponderanti conservano la loro reciproca posizione. Così anche da quei corpi celesti, dei quali noi ricerchiamo la costituzione a mezzo del cannocchiale e della lastra sensibile, non giunge a noi nessuna corrente di luce complessiva. Noi non giungeremo mai a spingere il nostro occhio corporale fino a questi minutissimi

grani dell'azione degli atomi, ma ciò malgrado noi riconoscemmo, che quella granulazione che ci apparve come una artificiale produzione nella immagine, conseguenza di insufficienza della nostra tecnica, è all'opposto, una rappresentazione, sia pur grossolana, della realtà. L'insieme apparente, che illude il nostro occhio, è una conseguenza di un difetto del nostro occhio, della sua poca acutezza.

La lastra è per un rispetto inferiore al nostro occhio, giacchè la granulazione fotografica è circa dieci volte maggiore di quella della nostra retina, i cui elementi distano fra di loro di circa due millesimi di millimetro. Si è per ciò che anche tutto l'apparecchio fotografico dell'occhio è di tanto più piccolo degli apparecchi da noi usati. Il suo diametro, la distanza focale dell'occhio, tocca appena i 25 mm., e l'apertura, in circostanze favorevoli, 5 mm. L'immagine che l'occhio ci fornisce della Luna, ha un diametro di circa $^1/_8$ di millimetro. Molti di quegli atomi vibranti, che sono assai più piccoli che quegli intervalli fra gli elementi della retina, ne possono rimanere inattivi innumerevoli, fra le granulazioni della lastra, e perdersi inavvertiti, in ben maggior quantità che nel nostro occhio: si è perciò che esso è molto più sensibile.

Ma ciò vale unicamente per l'istante nel quale noi guardiamo, dopo che abbiamo penetrato col pensiero dentro a quella struttura molecolare delle cose. Appena un elemento della retina è stato percosso da un elemento di luce, che si eccita la sensazione luminosa, l'oggetto luminoso deve quindi essere almeno tanto grosso che la sua immagine nell'occhio non possa cadere fra due elementi. Lo stesso vale per la lastra; solo qui l'oggetto deve essere pure dieci volte più grosso perchè non possa sfuggire fra le maglie sensibili alla luce della rete fotografica, fra le quali noi desideriamo di prenderlo. Nel primo istante dell'impressione luminosa pertanto, l'occhio vedrà con più acutezza, e avvertirà strutture più minute d'assai. Ciò d'altronde è risaputo; noi possiamo bensì fare dei rilievi momentanei, che mostrano particolarità ben fine, ma poi ci occorre molta luce, gli atomi luminosi debbono penetrare ben fitti nella lastra, per non fallire e percuotere una granulazione.

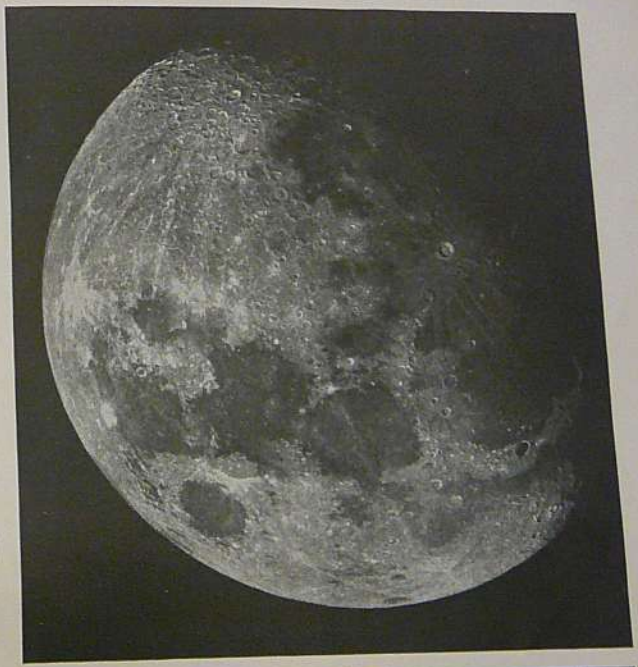
Queste condizioni si cambiano però di molto a vantaggio della fotografia, non appena si tratti di rilievi che devono durare. L'occhio non assume le impressioni della luce, come fa la lastra. Appena è passata l'impressione del momento, anche l'immagine scompare dal nostro occhio, tranne probabilmente deboli traccie, che in un qualche modo sono conservate per rendere a noi possibile il ricordare. Ma la nostra dolorosa esperienza d'ogni giorno ne insegna come presto anche quelle immagini della memoria scompaiano. Nel laboratorio fotografico dell'occhio non si trova alcun apparato di fissazione. Sarebbe una cosa ben incomoda per noi, del resto, se ciò si verificasse e le immagini si disponessero senza affievolirsi l'una sopra l'altra; avverrebbe allora la stessa cosa, che il fotografo constata con rincrescimento, quando discopre sulla stessa lastra due od anche più rilievi; nella cui compenetrazione non si distingue più nulla. La lastra secca per contro trattiene le impressioni della luce una volta ricevute; essa ha una memoria ben più fedele dell'occhio, ed essa unisce ogni successiva impressione alle antiche.

Dobbiamo ancora menzionare una circostanza che concorre a favorire la lastra, mentre agisce quale perturbatrice sull'occhio: essa è la permanente agitazione dell'immagine, che proviene dalle condizioni di rifrazione sempre variabili dell'atmosfera,

o anche dalla non perfetta stabilità dell'istrumento. Se la posizione delle onde luminose rimanesse sempre la stessa, per rispetto alla lastra, così naturalmente, quei raggi che fossero riusciti a sfuggire attraverso alle maglie della rete, andrebbero anche per sempre perduti per le nostre cognizioni. Ma poichè i raggi di luce, dondolano continuamente in qua ed in là, essi possono, anche quando siano molto scarsi, incontrare casualmente uno di quei granelli sensibili, e con ciò rivelare la loro esistenza. Ma ciò avverrà naturalmente tanto più di rado, quanto più sottile è il raggio di luce, perchè così potrà più facilmente di uno più spesso e più energico scivolare via entro a quelle maglie. Quindi quanto più lungamente si lascierà la lastra esposta all'azione delle vibrazioni luminose, tanto più fine impressioni essa ci darà, e ciò può spingersi teoricamente, e per quanto le nostre precedenti considerazioni sono esatte, oltre ogni limite. Quando ovunque si trova un solo atomo luminoso vibrante, l'urto del quale l'etere cosmico trasporta fino alla nostra lastra fotografica, la prova di sua esistenza che esso ci lascia è solo dipendente dal tempo durante il quale noi lasciamo agire gli atomi luminosi che l'uno dietro all'altro vibrano, nel che essi l'uno dopo l'altro percuotono le molecole del sale d'argento, distaccate l'una dall'altra dall'energia del loro movimento.

L'esperienza pratica conferma ciò fino ad un certo punto, ed in realtà fino a limiti, che per quanto noi possiamo immaginare, non saranno toccati dall'uomo: i limiti tanto dell'infinitamente grande, al quale noi tentiamo di trovare una via, quanto quelli dell'infinitamente piccolo, il mondo degli atomi, che noi non potremo raggiungere mai. Tuttavia noi abbiamo ottenuto, che sulla lastra fotografica a malgrado della sua granulazione grossolana, vengano a rappresentarsi corpi celesti di luce così debole, che l'occhio che per un istante è cotanto sensibile e finamente costruito, non può scoprirne indizio. Lasciando esposta una lastra per delle ore, vi si vedono dei minutissimi punti neri, che in prove ripetute si presentano sempre nella stessa posizione rispetto a stelle ben note, puntini che non possono essere prodotti se non da stelle, che anche il più potente cannocchiale sarebbe impotente a scoprire. Certamente questi corpi celesti, hanno per noi un diametro apparente molto più piccolo, che quello dei grani della lastra e della retina stessa: malgrado ciò, quelle vibrazioni eteree eccitate a quelle immense distanze, e dopo viaggi di forse migliaia d'anni, e dopo di aver vagato fra le maglie del tessuto sensibile alla luce della nostra lastra, hanno trovato un granellino d'argento sul quale esse quaggiù sulla nostra terra hanno lasciato un'impressione come traccia materiale della loro esistenza. Tali rilievi riescono felicemente con mezzi ottici molto più piccoli di quelli coi quali si faceva l'infruttuosa ricerca ad occhio; si tratta qui di un progresso della indagine fotografica, molto più importante di quello che si potrà mai conseguire coi mezzi ottici di visione diretta. Ciò che noi intendevamo di raggiungere coll'aumentare il diametro dei vetri obbiettivi, cioè l'aumento dell'intensità luminosa, lo abbiamo dalla fotografia, almeno in parte; mentre con quel metodo, noi eravamo tecnicamente incapaci di qualsiasi ulteriore avanzamento e perfezionamento, la fotografia ci ha additata un'altra via che ci conduce più facilmente alla stessa meta.

Spesso anche gli ordinati apparati fotografici possono gareggiare vantaggiosamente con telescopi molto potenti. Si deve solo aver cura che l'apparecchio tenga dietro esattamente al movimento della regione celeste che si vuol rilevare, giacchè quel vantaggio si ottiene solo con una esposizione relativamente prolungata.



FOTOGRAFIE DELLA LUNA E DELLA CORONA SOLARE

Spesso per tali rilievi non basta una intiera notte, e l'apparecchio deve essere chiuso prima che spunti l'aurora, per dirigerlo alla stessa regione celeste nella notte successiva, il che si ottiene a mezzo del " cercatore „ e completare così l'esposizione.

L'uso degli apparecchi fotografici ordinari è ancora di molto vantaggio, quando si tratta più di ricerca che di disegno possibilmente esatto. È possibile assai più facilmente il dare una corta distanza focale ad un obbiettivo fotografico che ad uno astronomico. L'immagine focale ne rimane impicciolita, mentre cresce l'intensità luminosa. Quindi se si tratta di oggetti di debole luce, come ad esempio di quelle nebulose che con pallido bagliore sono disseminate sul cupo fondo del cielo, o di scoprire comete, allora gli apparecchi con obbiettivi possibilmente grandi e contemporaneamente di breve distanza focale, hanno un notevole vantaggio sui grandi cannocchiali. Ed a quegli scopi giova ancora che l'immagine sulla lastra riesca molto più piccola che coi cannocchiali di grande distanza focale, giacchè così colla stessa lastra si domina una più estesa plaga del cielo, nella quale si tenta di rintracciare nuovi oggetti.

Ogni fotografo, famigliare col modo di agire del suo apparecchio, sa che l'intensità di luce di esso si ottiene dividendo per la distanza focale la grandezza dell'apertura, e che la durata necessaria dell'esposizione decresce col quadrato di questa intensità. Se un apparecchio ha 20 cm. di distanza focale e 2,5 cm. d'apertura, l'intensità di luce è espressa in qualsivoglia unità di misura $\frac{2,5}{20} = \frac{1}{16}$. Se con una tale apertura, l'esposizione deve durare 3 secondi, applicando un diaframma di un diametro metà, non si ha più a disposizione che la quarta parte dell'intensità di luce ora trovata, e con ciò l'esposizione deve durare $3 \times 4 = 12$ secondi. Ciò apparirà subito dalle precedenti considerazioni, quando si ammetta come dimostrato, che l'immagine focale di un oggetto molto lontano cresce esattamente colla distanza focale. E quindi se una macchina fotografica ha una distanza focale doppia di un'altra, essa dà anche un'immagine due volte maggiore, e così via, sempre nella supposizione che la distanza dell'oggetto sia molto grande. Così, mentre ad esempio il cannocchiale dell'Osservatorio Lick, con una distanza focale di 15 m. dà una immagine della Luna di 0,1 m. di diametro come mostra la nostra elio-incisione di grandezza naturale, un apparecchio di 0,5 m. di distanza focale darà un'immagine 30 volte più piccola, quindi di soli 4 mm. circa di diametro. La superficie sulla quale si raccolgono gli atomi luminosi provenienti dalla Luna è quindi $30 \times 30 = 900$ volte più piccola, gli atomi possono quindi 900 volte più presto venir a capo del disegno dell'immagine. Noi possiamo ora ridurre il diametro dell'obbiettivo, che in quel grande istrumento misura circa 1 m., ad esempio a 0,1 m. Allora la superficie colpita dagli atomi luminiferi è 100 volte minore, quindi il numero degli atomi che sopra vi agiscono anche 100 volte minore, e l'illuminazione dura 100 volte di più. Col nuovo apparecchio quindi il lavoro di una volta è divenuto 900 volte minore, ma nel tempo medesimo vi lavorano anche 100 volte meno di operai; tuttavia il lavoro sarà fatto $900 : 100 = 9$ volte più presto coll'apparato fotografico, che col grande telescopio. L'intensità luminosa di questo, è secondo i dati precedenti $^1/_{15}$, quella del primo $^1/_8$, che stanno fra di loro come 1:3. L'intensità dell'azione è quindi anche uguale al quadrato di questo numero, come noi abbiamo trovato. Però in questo tempo nove volte più breve, abbiamo una immagine di

diametro trenta volte minore. Per l'esame della Luna una simile immagine sarebbe del tutto disadatta, giacché in causa della piccolezza andrebbero perduti troppi dettagli, ed a questo scopo servono solo possibilmente i grandi telescopi; ma le piccole nebulose dell'estensione della luna vengono scoperte molto più facilmente colla piccola camera che con quel gigante.

Per le stelle fisse il vantaggio derivante dall'accorciamento della distanza focale, non cresce come per le nebulose. Le stelle fisse, rimangono punti, tanto nei grandi come nei piccoli cannocchiali, teoricamente parlando, ed i dischi fotografici sono indipendenti dall'ingrandimento dell'apparecchio. Per questi oggetti conviene applicare le più grandi aperture possibili; la distanza focale non influisce sulla durata dell'esposizione. Ma siccome spesso nell'indagare quei lontani ammassi di altri soli avviene, che sulla lastra si scorgano ben nettamente separati, dei punti di luce, delle stelle doppie, così i cannocchiali a lunga distanza focale, e producenti perciò una larga immagine, nella quale i punti dell'immagine restano disgiunti nettamente, sono assolutamente da preferirsi per quello scopo, e tanto più in quanto che la lunga distanza focale non scema punto per le stelle fisse l'intensità del lavoro degli atomi luminosi.

Fig. 20. — I dintorni di ε in Orione. Fotografia di J. Scheiner in Potsdam, con un'esposizione di 8 ore.

Faremo dimostrato meglio più avanti, quale enorme progresso sia stato, per il rilievo delle stelle fisse, la fotografia celeste, rispetto agli strumenti di puntamento assai difficile degli astronomi, e quanto più profondamente s'addentri la lastra, che questi apparecchi di visione. Da qualche anno si è costituita un'associazione di astronomi, i quali si propongono di fare un regolare rilievo del cielo stesso, servendosi di grandi cannocchiali. Il lavoro richiederà ancora qualche diecina d'anni, ma formerà un documento monumentale che fornirà agli astronomi del secolo venturo modo di acquistare molte cognizioni sull'andamento di questa immensa riunione di sistemi solari, fra i quali il nostro dominio planetario non è che un minuscolo staterello. Ritorneremo più avanti sopra questa grande impresa.

Tuttavia dove si richiede esclusivamente l'aumento dell'intensità di luce senza un contemporaneo ingrandimento dell'oggetto, la fotografia appare superiore alla visione diretta col telescopio. Parlando del telescopio vedemmo che una delle sue estremità porta l'oculare, per mezzo del quale si può variamente ingrandire l'immagine dell'oggetto che si osserva prodotta dall'obiettivo. L'immagine fotografica,

che si forma nel cannocchiale allo stesso posto, non può a causa della sua granulazione grossolana venir ingrandita nello stesso modo, come a mezzo della lente oculare, nella visione diretta. Ora, poichè la luce è inattiva fra i grani della lastra, così tutti i dettagli che il telescopio proietta su questi intervalli vanno perduti, mentre l'occhio a cagione della sua granulazione dieci volte più minuta, potrebbe ancora discernerli, quando fossero abbastanza luminosi. Così anche nei suoi inconvenienti la lastra fotografica si mostra simile all'obbiettivo dei grandi telescopi, i quali, come già vedemmo, per lo studio di dettaglio di corpi celesti lucenti, sono relativamente meno appropriato dei piccoli vetri. A ciò s'aggiunga, come per i giganteschi cannocchiali, ma in misura ben maggiore per la lastra fotografica, l'inconveniente dell'irradiazione. Gli atomi vibranti, i quali sfuggono negli interstizi dello strato sensibile, vengono in parte respinti indietro dalla faccia posteriore riflettente della lastra di vetro, e dopo la spinta in dietro che li devia, possono giungere ad un granello, che essi scompongono, mentre l'immagine del telescopio non lasciava scorgere qui alcuna chiazza chiara. In conseguenza di ciò l'immagine di una stella lucente si circonda di un anello od aureola. D'altra parte la luce s'infiltra nell'ombra, dipinge la lastra, deforma le particolarità ed allarga l'immagine della stella.

Lo stesso fatto si verifica nei rilievi delle stelle, ma senza effetto perturbante. Tutte le stelle più lucenti, che pure, come già si disse, sono per noi senza diametro, si disegnano sulla lastra come dischi di qualche estensione, così da superare d'assai quelli che potrebbero venir prodotti dai difetti ottici del cannocchiale. La figura 20 è la copia di un rilievo stellare in grandezza naturale. Noi vediamo da essa, che le singole stelle vi appaiono come dischi di un millimetro di diametro, come si sogliono disegnare sulle carte celesti moderne, affine di poter riprodurre, a mezzo delle varie larghezze, i vari gradi del loro splendore, le così dette classi di grandezza. Ma un disco è largo incomparabilmente più degli altri; la durata dell'esposizione fu di molto troppo lunga per la stella corrispondente. Questi dischi stellari fotografici, corrispondono, con una restrizione della quale diremo più avanti, alle equivalenti classi di grandezza. Le stelle più lucenti hanno dischi più larghi delle deboli, e solo le più piccole si restringono in punti della grandezza dei grani fotografici.

Questi dischi stellari non ripetono per nulla unicamente la loro origine dalla menzionata irradiazione all'indietro, la cui azione si avverte principalmente negli anelli e nelle aureole luminose che circondano le stelle più lucenti; ma in larga misura più dall'agitazione dell'aria e dal puntamento variabile del cannocchiale. Già abbiamo sperimentato, come l'atmosfera in tempo variabile faccia oscillare qua e colà il tremolante raggio di luce. Esso scorre per diritto e di traverso in ogni direzione sulla lastra, finchè s'imbatte in un granello sensibile. Quanti più raggi si raccolgono in un punto, cioè quanto più lucida è la stella, tanto più sicuramente in ogni escursione, cui sono costretti dalle variabili condizioni di rifrazione dell'atmosfera, s'imbatteranno in un granello sensibile, e per tutto il contorno dell'escursione si annerirà la lastra. Le più ampie deviazioni del raggio devono anche essere le più rare, il più grande s'incontra più di rado nella sfera della natura che il più piccolo. Ora poichè nelle stelle meno lucenti gli atomi che trasmettono la luce sono più scarsamente disseminati, così per esse le deviazioni di

una certa grandezza divengono così rare, che esse non producono più alcuna impressione sulla lastra, mentre ciò si verifica ancora per le stelle più lucenti. È perciò che le piccole stelle possono annerire la lastra solo in un cerchio più ristretto.

Una causa ancora contribuisce a produrre il disco delle stelle: il movimento dell'oggetto celeste. In conseguenza del moto apparente della Terra attorno al proprio asse, tutte le stelle descrivono dei cerchi apparenti attorno al polo celeste. La Fig. 21 rappresenta una levata fotografica attorno al polo celeste mantenendo fermo il cannocchiale. Le stelle si sono perciò distese a porzioni di circonferenza. La Luna ed i pianeti hanno inoltre dei movimenti proprii. Ad ogni grande cannocchiale va unito un movimento d'orologieria, che muove l'istrumento dietro a quell'apparente rotazione, ma nessuna arte umana potrà mai competere con quel celeste congegno, così che ad ogni istante non avvengano deviazioni di una così piccola frazione di millimetro quale quella che corrisponde ai granelli della lastra. Solo con una attenzione costante ed attenta cura al movimento d'orologieria si può ovviare agli errori che per tal guisa si producono. Ciò si ottiene a mezzo del cannocchiale cercatore del quale va provvisto ogni grande istrumento. I due cannocchiali sono rigidamente connessi, e mostrano del pari la stessa regione celeste. Nel cercatore è distesa una fine croce di fili: sul punto d'incontro dei fili si fa venire una stella ben nettamente visibile, e poi a mezzo di una vite finissima, che permette d'imprimere al cannocchiale degli spostamenti piccolissimi, si procura che durante tutta l'esposizione, la stella coincida esattamente coll'incrocicchio dei fili. Per ciò ottenere bene spesso si deve per varie ore guardare nel cercatore, o cannocchiale di puntamento, con tutta attenzione, non insignificante prova di pazienza. Ma neppure con questo mezzo si riesce a superare tutte le difficoltà. D'ordinario il cercatore è molto più piccolo del proprio cannocchiale, e quindi sottosterà diversamente da questo alla forza riflettente della gravità. Ora poichè lungo la durata dell'esposizione i due cannocchiali vengono a trovarsi nelle più diverse posizioni rispetto all'azione della gravità, il loro parallelismo non potrà venir mantenuto rigorosamente; le

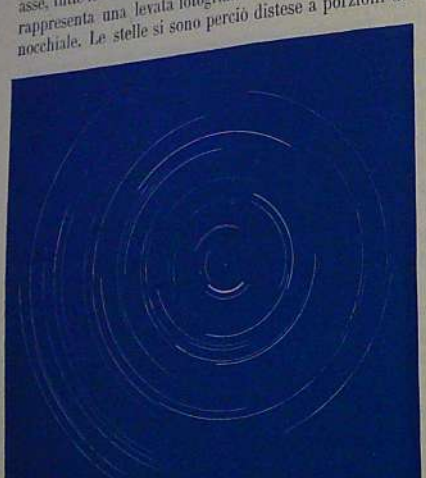


Fig. 21. — Levata fotografica dei dintorni del polo celeste settentrionale, di W. Prinz in Bruxelles.

stelle divagano più in esteso nel grande cannocchiale, benchè ci si sforzi a mezzo del piccolo di trattenerlo nell'identica posizione.

Nei cannocchiali destinati specialmente a scopi fotografici, non si potè fare altro che fabbricare il cercatore grande quanto il cannocchiale destinato alle levate, cioè di fare un telescopio doppio, non diversamente da quanto si pratica nei binoccoli da teatro, campagna o marina. La figura 22 rappresenta un istrumento di tal fatta, che trovasi in attività nell'Osservatorio astrofisico di Potsdam. Ma neppure in questi strumenti, si evita che per difetto del movimento progressivo loro impresso, il raggio di luce non devii anche per un tempo brevissimo dalla sua direzione normale. Colle stelle lucide ciò si ripercuote immediatamente sulla lastra e concorre a formare il disco, mentre colle piccole, in questo breve tempo, non si può così presto trovare un granello sensibile.

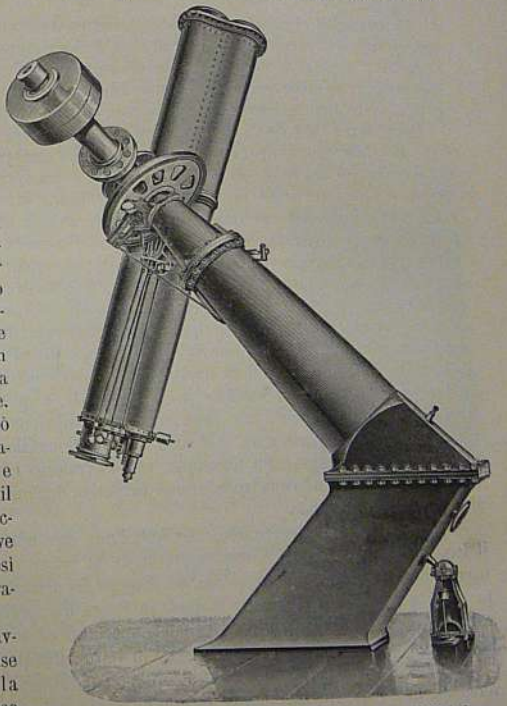


Fig. 22. — Rifrattore fotografico dell'Osservatorio di Potsdam. Da una fotografia.

Finora abbiamo avvertito quattro cause che concorrono alla produzione del disco stellare; l'aberrazione di sfericità dell'obbiettivo, l'irradiazione e la riflessione sulla faccia posteriore della lastra, l'agitazione dell'aria, e finalmente i difetti del movimento d'orologieria dell'apparecchio. Solo le due prime rimangono alcun poco costanti, le altre due cambiano ad ogni rilevamento. Pertanto una medesima stella può presentare sulle diverse lastre un diametro affatto diverso: ma il rapporto dei diametri delle varie stelle di una medesima lastra fra loro, ci dirà qualche cosa sulle relative loro luminosità: e per questo rispetto la misura dei dischi fotografici stellari è divenuta un mezzo di ricerca non senza importanza.

Noi vedemmo che punti per noi assolutamente senza dimensioni, producono col processo fotografico dei dischi, che possono sulla lastra essere della larghezza di millimetri: quindi superficie luminose come quelle della Luna e dei pianeti produrranno delle immagini allargate, come quando non si è puntato ben esattamente all'oggetto.

Le immagini circolari prodotte da ciascun punto luminoso di quelle superficie, sovrapponendosi parzialmente l'una all'altra, fanno scomparire i dettagli circostanti disegnati. Ciò si nota in modo ben chiaro su vecchie fotografie della Luna, giacchè esse, sebbene eseguite coi migliori cannocchiali, mostrano appena particolarità tali, quali si potrebbero vedere e distinguere con un cannocchiale mediocre affatto.

Dopochè nel 1851 riuscì all'astronomo americano Bond la prima fotografia della Luna, per ben venti anni si dovette stare contenti a quei risultati imperfetti, prima che si realizzasse nel 1871, coll'introduzione della lastra secca, un notevole progresso. Questa è fin trenta volte più sensibile della lastra ad umido, cosicchè si potè ridurre la durata dell'esposizione fino ad un trentesimo di quella prima richiesta, tanto che oggi per la Luna bastano pochi decimi di secondo. Così ad esempio al privato astronomo Eugenio von Gothard, che nel suo osservatorio in Herény (Ungheria) eseguisce dei rilievi fotografici rimarchevoli, venne fatto di fotografare la Luna eclissata il 12 luglio 1889 in un mezzo secondo, servendosi del suo telescopio a specchio di dieci pollici (cm. 25,4). Con questo accorciamento dell'esposizione si riducono naturalmente d'assai, quasi ad un minimo, i difetti del rilievo provenienti dallo stato dell'atmosfera e dalle irregolarità del movimento d'orologieria. Il raggio di luce non ha tempo di oscillare in qua ed in là, e quindi non può produrre quei dischi che si compenetrano: in conseguenza compaiono sulla lastra fotografica, sempre più minuti particolari. Abbiamo dato un'elioincisione che è una fotografia lunare ottenuta col gigantesco telescopio dell'osservatorio Lick. Essa è una diretta immagine focale, essendo una riproduzione inalterata dell'immagine che si produsse al fuoco del cannocchiale.

Oggidì si possono ottenere fotografie della Luna ingrandite fino a quaranta volte il loro diametro originale. Naturalmente anche la grana viene ingrandita e l'immagine diviene sempre più grossolana nel disegno dei dettagli. Per riparare almeno in parte a questi inconvenienti, Weinek in Praga ha applicato un procedimento particolare che sembra dare già risultati importanti ed interessanti. Egli copre l'immagine negativa pronta, con una lastra di vetro sulla quale sono tracciate delicatamente col diamante delle rette fra loro perpendicolari, poi guardando attraverso ad una lente che ingrandisce venti o quaranta volte disegna minuziosamente quadrato per quadrato. A ciò si richiede un'attitudine ben rara, e che fra gli astronomi viventi solo il Weinek possiede. Con questo mezzo si possono sopprimere le asperità della granulazione, e l'immagine risulta più unita, più chiara, che col puro ingrandimento meccanico. Si considerino, ad esempio, le rappresentazioni di Arzachel (Figg. 37 e 38), ottenute in tal modo che noi riproduciamo più avanti, ponendosi alla distanza della visione distinta, che noi qui ammettiamo di 25 cm., e l'immagine prodotta nel nostro occhio sarà tanto grande come ce la mostrerebbe un cannocchiale che ingrandisse 600 volte. Ma l'ingrandimento di Weinek ha sull'immagine del cannocchiale il grande vantaggio della quiete, mentre colla visione diretta di rado si possono applicare ingrandimenti superiori a trecento volte, affinchè i movimenti

dell'aria non confondano ogni cosa. In conseguenza di ciò già vennero scoperti sui disegni di Weinek delle piccole configurazioni sulla superficie lunare, che l'occhio potè solo discernere dopo e con grande difficoltà. Con ciò è provato che l'odierna fotografia lunare è giunta all'altezza dell'osservazione diretta.

Tuttavia, per verità, non bisogna tacere, che il grande vantaggio che la fotografia, sebbene fornisca immagini così poco perfette, possiede in causa della sua oggettività sul disegno a mano, viene dal procedimento di Weinek distrutto in parte. Per quanto il disegnatore si sforzi di attenersi strettamente all'originale, tuttavia l'immagine di seconda mano porterà alcun che di soggettivo, sopratutto quando si tratti di particolarità minute, che giacciono al confine della nostra facoltà di distinzione. Noi avremo più tardi occasioni frequenti di constatare, quanto fra loro differiscano sostanzialmente disegni di un medesimo oggetto, eseguiti da diversi osservatori. Per i dettagli più minuti che s'infiltrano anche fra i granelli della lastra, rimane a Weinek libera l'interpretazione che egli esegnisce soggettivamente. Un'altra lastra, di granulazione diversamente disposta, servirà anche qui a correggere molto, ma rimane sempre dipendente dalla persona.

Fig. 23. — Il pianeta Giove, fotografato all'Osservatorio Harward a Cambridge (S. U.).

La fotografia dei grandi pianeti per contro è ancora poco avanti, all'incirca al punto di partenza, donde si mosse la fotografia lunare al tempo della lastra umida. Per ottenere, ad esempio, un'immagine di Saturno o di Giove, bisogna sempre ancora tenere esposto per 10-20 secondi. La qui unita figura dà un facsimile di una tale fotografia di Giove: un rapido confronto coi disegni di questo corpo celeste contenuti in quest'opera, dà immediatamente a divedere che oggi la fotografia serve pressochè niente per lo studio della superficie dei pianeti. Si è già molto contenti, quando ad esempio sopra una fotografia di Marte, si riconoscano le macchie polari chiare, che furono viste coi primi cannocchiali non acromatici del 17° secolo. Sotto questo aspetto il progresso può venire solamente da una futura composizione di lastre di molto più sensibili.

Ma la fotografia può ancora vantare un altro suo particolare successo nel regno dei nostri pianeti. Essa scopre, per così dire automaticamente, i piccoli pianeti, dei quali, come si sa, ne circolano delle centinaia tra Marte e Giove. Questi corpi celesti minuscoli, nel telescopio non si distinguono in modo veruno dalle stelle fisse. Per scoprirli bisogna perseverare nell'osservazione per ore e talvolta per giorni, per constatare se il punto luminoso che si suppone un pianeta si sia spostato rispetto alle stelle vicine, col che esso rivela il suo movimento di traslazione attorno al Sole. Dacchè si hanno lastre di grande sensibilità, basta fare dei rilievi di stelle fisse in quelle regioni nelle quali si opina possano rinvenirsi tali pianeti. Se nella regione riprodotta sulla lastra si trova un pianeta, questo dovrà mostrarsi su quella come una linea, non come un punto come le stelle fisse, giacchè il pianeta si è spostato durante l'esposizione.

Altra volta, la scoperta di simili piccoli corpi celesti era un lavoro estremamente faticoso. Generalmente occorreva un anteriore lavoro di anni, per poter

disegnare al cannocchiale tutte queste piccole stelle, per poi, ripetendo l'ispezione della regione, trovare occasionalmente una stella mancante od una nuova venuta, alla quale poi si teneva dietro nel suo qualsiasi moto. Il ricercare poi il moto di quelle stelle era un lavoro troppo lungo, ce ne sono milioni in cielo e spesso centinaia nel campo del cannocchiale. Non erano pronte carte celesti, che contenessero disegnate anche queste piccole stelle; quindi solo quegli astronomi potevano scoprire piccoli pianeti i quali si erano in precedenza preparate siffatte carte. Peters, in Clinton (Nord America), da poco rapito alla scienza; Palisa, in Vienna, erano in questo caso: entrambi hanno scoperto dozzine di pianetini. Oggi Wolf in Heidelberg, che ha escogitato questo metodo, e Charlois, a Nizza, scoprono piccoli pianeti affatto senza carta, ma solamente col curare che il loro apparecchio sia durante due o tre ore rivolto alla stessa plaga del cielo. Se poi sulla lastra non si vede alcuna striscia, ma solo dei punti, il che avviene per lo più, essa è sempre un utile documento dello stato dello spazio celeste nella data direzione, ed il lavoro non fu sciupato. Se invece vi si trova disegnata una striscia, allora si procede alla misura della lastra. Siccome sulla lastra esistono sempre una o più stelle maggiori, la cui posizione in cielo è ben nota, così a mezzo di esse si può sempre trovare facilmente la posizione del nuovo pianeta sulla vôlta del cielo; la striscia ci dà la direzione e la velocità del movimento, cosicchè coll'appoggio della lastra si può indicare dove si dovrà cercare il nuovo astro col cannocchiale per seguirlo ulteriormente.

Per la misura delle lastre fotografiche si adoperano speciali apparecchi micrometrici, intorno ai quali noi nulla diremo, come nulla dicemmo degli apparecchi sussidiari del cannocchiale. Si avverta però, che benchè fino a questi ultimi tempi si fosse creduto che la fotografia celeste, in fatto di posizioni, non poteva fornire che approssimazioni più o meno grossolane, e che in ogni caso non avrebbe mai potuto raggiungere la mirabile esattezza dell'astronomia di precisione, essa tuttavia compete vigorosamente con questa. Naturalmente, per ciò ottenere, bisogna operare colla massima cura. La spalmatura della lastra, nella manipolazione umida che tien dietro all'esposizione, e quindi nell'asciugare, va sottoposta a molte variazioni, a cagione delle quali le originali posizioni relative dei punti stellari possono venir alterate. Per rendere innocui gli errori che da ciò provengono, si fotografa contemporaneamente alle stelle un reticolo, che viene intromesso nel cannocchiale nel sito ove si forma l'immagine ottica dell'oggetto o plaga celeste. Questo reticolo deve naturalmente partecipare a tutte le variazioni che subisce la spalmatura, quindi misurando solo la distanza di un oggetto dalle linee contemporaneamente fotografate, e delle quali è esattamente nota la distanza, le deformazioni della spalmatura non possono più avere evidentemente alcuna influenza sul risultato della misura.

La scoperta fotografica dei piccoli pianeti ci mostra che condizioni, che per certi rami di indagini costituiscono difficoltà difficilmente sormontabili, possono in un altro campo divenire col tempo un notevole progresso, come già vedemmo della dispersione dei colori, senza la quale l'analisi spettrale non potrebbe esistere. Il movimento dei corpi celesti è per la fotografia celeste un impedimento molto incomodo, per contro il moto dei piccoli pianeti ce li fa scoprire; senza di esso la fotografia non costituirebbe alcun essenziale progresso sui metodi antichi.

In un rapporto affatto simile colle primitive osservazioni stanno i risultati della fotografia nel campo dello studio del Sole. Noi vedemmo più sopra che la lastra possiede i suoi massimi vantaggi sulla visione diretta, se applicata ai più deboli corpi, mentre che coi corpi celesti più lucenti quali la Luna ed i grandi pianeti essa è di gran lunga meno preferibile. Si sarebbe quindi dovuto credere *a priori* che col Sole, fotograficamente, nulla vi fosse da intraprendere. Ogni dilettante fotografo sa d'altronde che l'enorme quantità di luce dell'astro del giorno distrugge sulla lastra qualsiasi disegno. Quando si è apportato allo strato sensibile una certa quantità massima di luce, allora comincia a verificarsi di nuovo una riduzione dell'argento separato, ed il precipitato va scemando ognora più in colorazione nera, finchè ogni traccia dell'immagine originale svanisce. Questo processo è detto *solarizzazione*. Esso è quello che nell'esecuzione di fotografie di oggetti terrestri fissa il limite superiore della durata dell'esposizione: mentre l'inferiore viene stabilito a seconda della stabilità della lastra. Poichè questi due limiti non sono troppo discosti fra loro, così ci vuole della pratica, per determinare ad ogni quantità di luce la durata dell'esposizione.

Fig. 24. — Fotografia di una porzione di superficie solare. Da un rilievo di Janssen in Meudon presso Parigi.

Ma anche il più rapido otturatore istantaneo ordinariamente adoperato in fotografia, non potrebbe impedire una solarizzazione dell'immagine del Sole: si deve quindi ricorrere a congegni affatto speciali. Si pratica una fessura in uno schermo scorrevole, e a mezzo di una molla potente lo si fa passare il più rapidamente possibile davanti all'immagine solare nel fuoco del cannocchiale, cosichè la lastra non rimanga esposta alla luce solare che un millesimo, e nei grandi cannocchiali un cinquemillesimo di minuto secondo. In ciò fare si ricorre all'aiuto dello straordinaria delicatezza del nostro orecchio.

Si sa esattamente quante vibrazioni l'aria deve fare, affinchè noi risentiamo l'impressione di un suono di data altezza. Ora poichè la fessura nella sua corsa produce un suono, paragonando questo con un suono conosciuto, si può conoscere la velocità dello schermo.

Se noi facessimo scorrere davanti ai nostri occhi un così fatto schermo, noi non riceveremmo la benchè menoma impressione percettibile neppure dal Sole. Ma la lastra afferra, in questo tempo inconcepibilmente breve, un'immagine del

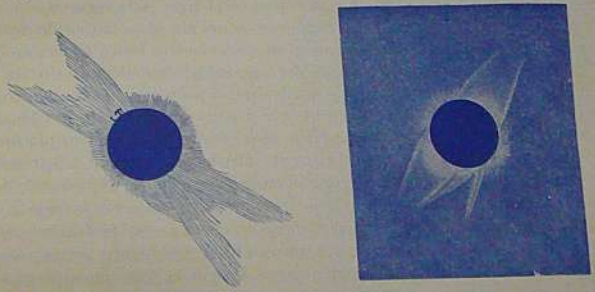
Sole, più fedele di quella che il nostro occhio potrebbe mai conservare per i nostri sensi. Noi constatiamo così una differenza essenziale fra l'azione dell'apparecchio fotografico e del nostro occhio. Quest'ultimo raggiunge molto più rapidamente il massimo di sensibilità, del quale esso è generalmente capace; ma generalmente per ricevere un'impressione, sia questa intensa ovvero non, richiede un certo tempo brevissimo sì, ma che noi tuttavia possiamo direttamente misurare, ma che varia d'alcun poco da individuo ad individuo. Il processo della visione passa qui dal lato puramente fisico a quello fisiologico. La comunicazione dell'impressione luminosa al nostro cervello s'indugia da un lato, dall'altro l'interpretazione dell'accaduto non è possibile così istantaneamente, come avvenne il processo puramente fisico. Ora siccome nell'istante successivo ci scorre davanti un'altra immagine, così quella prima trascorsa appartiene già alle immagini confuse della memoria. Così avviene che noi non possiamo afferrare le singole fasi di avvenimenti rapidamente cangianti, e che la lastra fotografica, malgrado la sua sensibilità di tanto minore rispetto a quella dell'occhio, per il rilievo di avvenimenti istantanei è molto preferibile alla visione diretta. Noi siamo bene spesso meravigliati dalle strane posizioni che uomini ed animali hanno nelle fotografie istantanee, e che ci sembrano affatto improbabili; tuttavia qui la lastra ha ragione e l'occhio torto. La fotografia diviene così una specie di microscopio per il tempo. Il microscopio ottico allarga la superficie dei corpi, col che noi veniamo a discernere la loro più minuta struttura; così la fotografia istantanea distende gl'intervalli del tempo, e separa i varii avvenimenti, che in essi si svolgono, in sezioni minutissime, ma che ora i nostri sensi possono considerare.

Questa proprietà della fotografia ci torna enormemente utile nello studio del Sole. Si è constatato che sulla superficie del Sole si manifestano dei cambiamenti vivacissimi e rapidi, che l'occhio lento a percepire non potrebbe fissare e che si frammischiano tanto alle agitazioni dell'aria, che colla visione diretta non sarebbe ben spesso più possibile il separare i cambiamenti reali dagli apparenti. Anche colle variazioni più lente che si svolgono nelle macchie solari, bene spesso il disegnatore al telescopio dura fatica a tener dietro ai fatti, e nessuna mano disegnatrice potrà mai essere così fedele, come una fotografia eseguita in un attimo brevissimo. Con una durata di esposizione così corta si evitano tutti gli inconvenienti che rendono difficile il rilievo del Sole e della Luna, poichè durante questo istante lo stato dell'aria non essendosi cambiato, le varie immagini della medesima particolarità non hanno potuto sovrapporsi e cancellarsi a vicenda.

Durante tale durata il cannocchiale può naturalmente restar fisso: quindi i difetti del movimento d'orologieria non hanno influenza sulle fotografie del Sole. Però non si deve tacere che l'azione rifrangente della luce delle irregolarità atmosferiche si fanno così sentire, come se davanti all'obbiettivo esistesse una lente o mal tagliata o male raffreddata. Spesso larghe porzioni della superficie solare si mostrano affatto confuse, come se si fosse puntato male (V. Fig. 24). In realtà, nell'istante dell'esposizione, avvenne lo spostamento di una massa d'aria la cui rifrazione alterò il fuoco dell'obbiettivo. Spesso anche due immagini del Sole prese subito l'una dopo l'altra, presentano un campo di dettagli notevolmente spostato, mentre nell'interno del campo stesso i medesimi dettagli hanno conservato la loro posizione relativa. La spiegazione di ciò non vuolsi d'altronde cercare che in

variazioni del potere rifrangente dell'aria. Ripetendo varie volte il rilievo, si può sempre separare quanto è dovuto all'aria, e la vera variazione dall'apparente. In molti osservatorii, e fra gli altri segnatamente in Potsdam, ogni giorno si fanno in tal guisa molti rilievi del Sole, e così si è stabilito da più di un decennio un archivio nel quale si conserva la veridica istoria del Sole, scritta dal Sole stesso. Riproduciamo più avanti tre di questi rilievi del Sole in una nostra tavola litografica.

La fotografia, in grazia della rapidità e veracità del suo lavoro, rende ancora notevoli servizi nei rari momenti di un'eclisse totale di Sole. Nelle eclissi di Sole, attorno al corpo centrale, appare il fenomeno della corona (si vedano le due figure inferiori della nostra tavola eliografica) pur anco non ben chiarito: una scialba parvenza luminosa che in quei momenti circonda il Sole, come un'aureola luminosa, e che dura soltanto visibile per i pochi momenti della totalità. Se anche la fotografia richiede per la riproduzione della corona un tempo più lungo di quello



Figg. 25 e 26. — Antichi disegni della corona solare.
Eseguiti da astronomi di Harward-College — Nord-America.

occorrente a dare un'immagine della superficie solare in tutta la pienezza della sua luce sfolgorante, tuttavia durante un'eclisse si può ottenere buon numero di rilievi della corona, la quale solo nei suoi contorni e con fatica potrebbe essere delineata da un disegnatore. Si comprende facilmente che nella fretta e nell'orgasmo dei brevi istanti si possano commettere parecchi errori, e più ancora, che la percezione soggettiva conturbi l'immagine. Non abbiamo che da mettere a confronto uno dei vecchi disegni della corona, come quelli riprodotti nelle figure 25 e 26, con una fotografia della stessa, riprodotta nella figura 27, perchè salti agli occhi l'insufficienza del disegno a mano.

Anche in occasione dei due passaggi di Venere in questo secolo, la fotografia in causa della sua rapidità ed oggettività è stata di grande aiuto nelle più importanti ricerche. Da quei fenomeni si voleva anzitutto determinare la distanza del Sole dalla Terra, fissando da varii luoghi della Terra la posizione di Venere sul disco solare. In ciò fare si doveva giungere alla conoscenza di quantità angolari molto piccole, le quali giacciono entro i limiti d'errore dell'occhio e dell'istrumento; era quindi necessario istituire molte osservazioni, affinchè gli errori accidentali potessero più facilmente venire avvertiti. Ma le misure angolari al telescopio

prendono del tempo; e quindi lungo la durata del fenomeno se ne poterono istituire solo un numero limitato: mentre si ottennero facilmente nel medesimo intervallo di tempo centinaia di fotografie solari. Su di esse si trovò disegnata l'immagine di Venere, e si potè poi al tavolo, e con tutta tranquillità, quando si volle, misurarne la posizione rispetto al lembo del Sole. Da ciò emerse la prova, che i risultati fotografici dell'osservazione dell'ultimo passaggio di Venere sono per lo meno altrettanto attendibili quanto quelli dell'osservazione diretta.

Una differenza essenziale tra l'immagine fotografica e quella prodotta nel nostro occhio, e che corrisponde in certa qual guisa al difetto della dispersione dei colori nel cannocchiale, è la sensibilità diversa della lastra per le varie tinte. L'occhio vede dei colori, la lastra fotografica solo differenze di luce; ma neppure queste corrispondono alle gradazioni che il nostro occhio avverte. Oggetti azzurri, che ci sembrano abbastanza oscuri, vengono sulla lastra rappresentati quasi come bianchi, mentre quelli gialli riescono oscuri, ed il giallo stesso e la tinta colla quale noi usiamo riprodurre il lucido, il chiaro. Da quanto precede, noi possiamo facilmente ricavare la spiegazione di questo processo per quanto concerne la lastra fotografica. Già nell'attuale disamina del modo di agire del cannocchiale, noi abbiamo trovato che ogni tinta corrisponde ad una specie particolare di vibrazioni degli atomi luminiferi. Impareremo nel Capitolo seguente che i raggi violetti hanno le vibrazioni più rapide, e che nello stesso tempo fanno nelle loro onde l'escursione più breve. Perciò essi sono, lo si può almeno facilmente intendere, in istato di penetrare più facilmente fra gli atomi delle molecole e di eccitarli, vale a dire di provocare delle reazioni chimiche. Non è altrettanto facile il comprendere come ciò avvenga diversamente per l'occhio. Nell'occhio la percezione dei colori è assai probabilmente da ascriversi non a processi chimici, ma a processi fisici. Sulla nostra retina cadono le vibrazioni medesime possedute dagli atomi, e secondo la differente velocità loro quelle vibrazioni vengono percepite come diverse tinte nel nostro occhio. La distinzione della diversa luminosità dell'immagine, astraendo dal colore, potrebbe pure nel nostro occhio fondarsi sopra un processo chimico, il quale può considerarsi come esistente, giacchè l'esistenza delle immagini della memoria deve essere collegato ad alcunchè di materiale. Questo alcunchè durevole non può poi essere provvisto che da un processo chimico fisiologico.

Se ciò fosse veramente, la porpora dell'occhio, che costantemente irrora la retina, potrebbe ben rappresentare della *eosina* od altre sostanze nello strato fotografico, colle quali venne fatto a H. W. Vogel in Berlino per il primo, di rendere la lastra sensibile anche ai raggi rossi e gialli. Quest'azione speciale di quelle miscele di sostanze rosse, si spiega con una loro proprietà di passare i raggi al setaccio, se è concessa l'espressione. Ogni corpo che per trasparenza possiede una data tinta mostra con ciò, che esso dà passaggio solo ai raggi di quella determinata energia, e che pel resto, la sua costituzione molecolare è così fatta, che in essa tutti gli altri raggi vengono trattenuti e distrutti. La sostanza solo debolmente rossa distrugge anche una parte di raggi violetti ed azzurri, così che la quantità di atomi vibranti " con velocità viola " che pervengono ai granelli del sale d'argento sensibile è molto minore di quella dei raggi gialli e rossi che sono liberamente passati. Ora una simile selezione avviene, come si disse, assai probabilmente per azione della porpora nel nostro occhio, ed il rapporto del numero degli atomi operanti di varia

velocità, ossia colore, ritorna con ciò ad essere per la lastra sensibile ai colori, consimile a quello che si verifica nel nostro occhio. Ora poichè una così fatta azione non può conseguirsi se non annullando le vibrazioni luminose degli atomi, così si riconosce che le lastre sensibili ai colori devono lavorare molto più lentamente di quelle comuni. Si ammette che la sensibilità di lastre preparate pei colori, quali si trovano in commercio, sia la metà di quelle comuni.

Poichè nella fotografia degli oggetti celesti è sempre importantissimo che, ad evitare il più possibile l'intrusione di errori accidentali, la durata dell'esposizione sia breve quanto si può, così gli obbiettivi fotografici devono venire costrutti diversamente da quelli destinati alla visione diretta. Abbiamo già detto che i raggi violetti si riuniscono a formare l'immagine più vicino all'obbiettivo degli altri. In questo punto dobbiamo noi immettere la lastra fotografica, quando vogliamo raggiungere la più rapida azione: il cannocchiale fotografico deve essere più corto dell'ordinario. Già vedemmo che, ad esempio, col vetro Flint, l'immagine violetta sta più dappresso all'obiettivo di quella rossa, di un quindicesimo della distanza focale: nel grande telescopio dell'Osservatorio Lick, questa distanza ammonta a più di un metro. Noi sappiamo anche che nel cannocchiale, a bello studio si fa cadere l'immagine colorata prodotta dalla lente di vetro *Crown*, ad una distanza diversa da quella pur colorata prodotta dal vetro *Flint;* con ciò si sopprime anche in parte la dispersione dei colori. Ma per fotografare è naturalmente più conveniente che tutti i raggi violetti vengano a raccogliersi in un medesimo punto. In breve, quando si vuol rendere l'esposizione più corta possibile, bisogna nella fotografia adoperare lenti ben diverse da quelle che valgono per la visione diretta. Tuttavia per utilizzare anche a scopo fotografico i grandi cannocchiali, e non doverne costrurre uno appositamente, il che è concesso solo a pochi osservatori, si facilita la fotografia coll'intercalare ancora una terza lente, così conformata da dare ai raggi la direzione voluta. Nel cannocchiale dell'Osservatorio Lick questa lente di correzione accorcia la distanza focale di circa 3 metri, così che colà si dispone di una gigantesca camera fotografica di 33 pollici (m. 0,84) d'apertura e di 14 metri di lunghezza, sui lavori della quale noi dovremo tornare bene spesso.

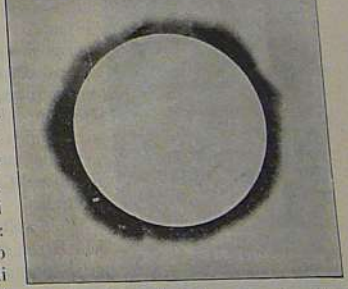


Fig. 27. — Fotografia della corona solare. Eseguita dagli astronomi dell'Osservatorio Lick nel Perù, in occasione dell'eclisse totale di Sole del 16 aprile 1893.

Benchè si adoprino tutte le precauzioni, tuttavia i risultati della fotografia celeste, od almeno quelli che essa fornisce circa la lucentezza degli oggetti, non si possono senz'altro paragonare con quelli ottenuti coll'occhio, poichè la luce delle stelle è di varie tinte. Le stelle gialle e rosse disegneranno sulla lastra un disco più piccolo di quello misurato ad occhio della loro lucentezza, per contro le azzurre faranno emergere sulla lastra circoli troppo grossi. Si potrebbe anche proporre la

questione, se abbia più ragione la lastra o l'occhio; e con ciò l'occhio condurrebbe alla più breve, giacchè la forza assoluta di un raggio di luce è misurato più convenientemente dal lavoro materiale chimico, quale è registrato dalla lastra. Ma le cose si devono considerare con quella relatività che è data dagli organi dei nostri sensi. Quindi non resta altro che ridurre i dati della lastra a quelli più inesatti dell'occhio, al che il mezzo ci è fornito dall'esperienza.

Se da una parte in questa differenza fra la lastra e l'occhio, noi abbiamo uno spiacevole impedimento ai nostri metodi fotografici di ricerca, dall'altra essa è stata la sorgente di scoperte altamente interessati, che dobbiamo unicamente alla lastra. La lastra fotografica ha infatti provato che nello spazio celeste esistono dei mondi di una estensione immensa, che muovono i messaggeri dell'etere in modo così vivacemente vibrante, che l'occhio umano non potrà mai vederli. Questi mondi irradiano la così detta " Luce ultra-violetta „ per la quale il nostro nervo ottico è insensibile. Quest'ultimo è costrutto solo per velocità dell'etere comprese fra certi limiti: ciò che sta oltre questi non è più avvertito come luce. Ritorneremo su questo argomento nel Capitolo seguente, trattando dell'analisi spettrale.

Fig. 28. — Nebulosa ultra-violetta nella costellazione del Cigno, scoperta fotograficamente da Max Wolf in Heidelberg.

Molte volte vennero scoperte nei rilievi fotografici delle larghe chiazze, che apparivano sulla negativa fortemente annerite, e che nelle ripetizioni degli stessi rilievi si mostravano sempre egualmente situate rispetto alle stelle circostanti (vedasi l'annessa rappresentazione della cosidetta nebulosa americana nella costellazione del Cigno), mentre in cielo nulla si scorge, anche a mezzo del telescopio, nella posizione così mostrata. È avvenuto, che una tale chiazza fu avvertita sopra una lastra, sulla quale se ne trovava un'altra consimile, ma prodotta da una nebulosa conosciuta. Entrambe quelle chiazze avevano annerita la lastra con quasi la stessa intensità, tuttavia l'una non era visibile neppure nei migliori cannocchiali a visione diretta, mentre l'altra era così lucente, che con buone circostanze atmosferiche la si poteva discernere anche ad occhio nudo. Con ciò la fotografia apporta una importante contribuzione all'astronomia dell'invisibile della quale noi dovremo, andando innanzi, riferire cose assai notevoli.

Solo per le porte dei cinque sensi può penetrare tutto l'universo che noi possiamo concepire; ma solo due di essi possono avvertire sensazioni ultra-terrestri e farne edotto il nostro spirito: la vista, e quella specie di tatto, che ci lascia risentire il calore solare. Però il Sole unico fra tutti, colla potenza dei suoi raggi si rivela a noi a mezzo di questo senso alquanto grossolano. Ma se vogliamo istituire più esatte ricerche sul calore che ci mandano i corpi che ne circondano, noi dobbiamo rendere la loro azione visibile per mezzo del termometro o di altri

congegni più perfetti, che noi impareremo a conoscere più tardi; così avviene anche per gli altri sensi, il mezzo ultimo è sempre la vista. Ma nel caso di quelle nebulose ultra-violette, anche esso è in difetto, esso è ancora troppo grossolano. Ma esiste qualche cosa di più sensibile del nostro occhio, fra noi e quei mondi invisibili, e ce ne svela l'esistenza. La lastra trattiene l'azione di quelle vibrazioni troppo rapide, e le trasporta all'ottava della sensibilità umana.

Noi avremmo ancora da considerare due casi nei quali la lastra sensibile serve meglio dell'occhio: il primo, quello della fotografia delle *facole* sulla superficie solare, che per la loro lucentezza poco diversa da quanto le circonda, vanno per lo più inavvertite dall'occhio, il secondo quello dei rilievi fotografici degli spettri delle stelle. Ma poichè queste due operazioni presuppongono la conoscenza dell'analisi spettrale, così rimandiamo la loro trattazione al Capitolo seguente. Ci accontentiamo ora di riassumere rapidamente i vantaggi della fotografia celeste.

Abbiamo anzi tutto riconosciuto che la lastra secca partecipa all'ingrosso a tutti i vantaggi ed inconvenienti dei grandi refrattori, e talvolta anche in più larga misura. La lastra è da preferirsi quando si tratti di studiare oggetti debolmente luminosi, segnatamente quando lo scopo primo non sia quello di rintracciare dei dettagli. In questi casi impiegando la lastra, si può riuscire meglio servendosi di un piccolo cannocchiale od anche di un ordinario apparecchio fotografico, anzi che di un grande telescopio. Ciò vale particolarmente per l'investigazione di quei mondi pieni di misteri che sono le nebulose, ove si svolgono i germi di futuri sistemi solari. Noi dobbiamo molte scoperte interessanti esclusivamente alla lastra sensibile, ed alcuni di questi oggetti da essa sola ci sono svelati.

Per lo studio del successivo grado di mondi, delle stelle fisse, sono desiderabili i grandi telescopi in unione coll'apparato fotografico, poichè le più piccole si disegnano in così minuti puntolini luminosi, che appena è possibile il discernerli guardando direttamente attraverso ad un cannocchiale. Nella nostra corsa giungiamo al sistema solare, ove l'astro dominante offre alla fotografia mezzo di provare quanto essa valga, procurandoci l'immagine istantanea del Sole, la cui straordinaria luce consente che la lastra sensibile dia tutto quanto può dare il metodo diretto e molto più ancora.

Cogli altri membri del sistema solare, la fotografia rimane indietro d'assai; colla Luna, solo incomincia il suo successo. Il suo progresso è da sperarsi solo nel ritrovamento di una sostanza ancora più sensibile di quelle finora adoperate. Che essa esista in natura e vi sia quotidianamente impiegata, lo mostra chiaramente il nostro occhio.

Tutti i nostri metodi scientifici d'osservazione tendono ognor più a divenire automatici, come appunto sono quelli esibiti dalla fotografia. Ciò è una conseguenza dell'opinione, che colla massa di lavoro che va ogni giorno più aumentando, deve introdursi per quanto è possibile l'uso di una ben intesa distribuzione del tempo. Ora, dopo che la lastra ha registrato lo stato del cielo, lo studio di esso può venir fatto, quando meglio torna comodo, utilizzando delle forze, che ora dal più al meno sono sprecate nel lavoro meccanico dell'osservare. In questo senso, come monumento incondizionatamente verace ed indelebile degli astronomi, la fotografia del cielo avrà sempre il compito suo, ed un giorno renderà di certo superflue tutte

le osservazioni dirette. Oggi, nell'inevitabile stato di transizione, per ridurre i risultati dagli antichi ai nuovi metodi, l'occhio dell'uomo deve pur sempre porsi in relazione diretta colle stelle.

4. — LA FOTOMETRIA

I metodi fotografici ne porgono, come vedemmo, un metodo per misurare le intensità relative di luce dei corpi celesti e paragonarle fra loro; ma si ottengono con ciò risultati solo discretamente esatti, quando si possono ottenere sulla stessa lastra e con una eguale durata di esposizione i corpi celesti che si considerano. Ma in molte questioni astronomiche è di grande importanza il poter misurare i cambiamenti della lucentezza di un medesimo oggetto lungo grandi intervalli di tempo, od anche di misurarne la luminosità di per sè, secondo una data misura assoluta; perciò si dovette ricorrere ad un apposito istrumento detto " fotometro ". La fotometria fu circa 100 anni or sono applicata per la prima volta agli oggetti celesti da Lambert, e fu poi maggiormente sviluppata da Steinheil, Seidel e Zöllner. In tempi a noi vicinissimi, Müller in Potsdam e Seeliger in Monaco, hanno in questo campo mietuto abbondanti scoperte, quelle del primo sono più pratiche, le altre più teoriche.

Oggidì anche nella vita pratica, la misura della luce ha acquistato un'importanza eccezionale, per constatare i vantaggi dei varii sistemi d'illuminazione, al quale scopo si sono costrutti fotometri d'ogni maniera. Il principio fondamentale è lo stesso per tutti. Si ha una sorgente di luce fissa invariabile, visibile assieme a quella che si vuol provare, ed a mezzo di apparecchi che assorbono la luce, che si interpongono tra l'occhio e l'una o l'altra delle luci, si cerca di indebolirne una finchè le due luci siano giudicate uguali dall'occhio. Misurando l'assorbimento di luce constatato, si ottiene un confronto fra le due intensità di luce. Si può spiegare il principio della fotometria adoperando uno schermo di carta, sul quale si sia prodotta una macchia d'olio. Dove si trova la macchia, la carta è divenuta trasparente, e quindi alla luce che vi cade sopra, appare più scuro che la superficie bianca non trasparente. Dal lato non illuminato dello schermo, la macchia d'olio appare per contro più chiara del suo contorno. Se ora si fa cadere anche da questa parte della luce sullo schermo, facendone variare l'intensità, si può riuscire ad ottenere che la macchia d'olio scompaia per il nostro occhio, e ciò deve manifestamente avvenire in quell'istante nel quale lo schermo è egualmente illuminato dalle due parti.

Se ora si vogliono istituire misure di intensità luminose fondandosi su questo principio, bisogna curare che la luce di paragone si mantenga di intensità inalterata. Una volta si ammetteva che una candela ordinaria di date dimensioni soddisfacesse a questa condizione, ed oggi ancora perciò si parla della forza di una candela normale. Ma nello stato di perfezionamento della nostra arte del misurare, non era lecito fermarsi a quel punto, e perciò si costrussero lampade speciali, che riempite di un olio raffinato, acetato d'amile, conservano una costante regolarità d'intensità. Fra queste lampade, la candela normale Hefner-Alteneck ha ottenuto

la maggior diffusione. Fra il punto ove è fissata questa sorgente di luce, e quello ove sta quella da sperimentarsi, è un regolo graduato, lungo il quale si può far scorrere lo schermo colla macchia d'olio. Si può sempre trovare tra le due sorgenti di luce una posizione nella quale la macchia d'olio sparisce: la lettura delle distanze delle due luci dallo schermo, coll'applicazione del teorema che l'intensità della luce diminuisce col quadrato della distanza, ci dà l'intensità della luce che si esperimenta in unità di candele normali. Se ad esempio la candela normale dista dallo schermo la metà di quanto ne dista la luce in esperimento, questa ha l'intensità di quattro candele normali; se le distanze stessero fra loro nel rapporto di 1 : 3 l'intensità sarebbe nove volte maggiore e così via.

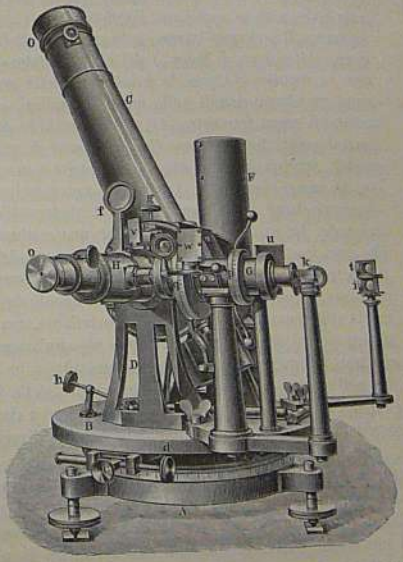


Fig. 29. — Astrofotometro di Zöllner, dell'Osservatorio astrofisico di Potsdam. Da una fotografia.

Naturalmente con apparecchi di tal fatta non si può misurare la luce delle stelle, perchè qui una delle distanze è infinitamente grande. Si sono costrutti varii astrofotometri: quello di Zöllner rappresentato nella figura è quanto di più esatto si sia prodotto fino ad oggi. Esso contiene anzitutto un cannocchiale spezzato: cioè un cannocchiale in cui i raggi provenienti dall'obbiettivo, sono rimandati all'oculare in direzione orizzontale a mezzo di un prisma. Il prisma agisce qui solamente quale specchio, con una delle sue faccie esterne. Dietro al prisma, racchiusa nel tubo metallico F, sta una candela normale, la cui luce riflessa dal prisma *i* per il tubo C passa nel tubo oculare H, e di qui con un'altra riflessione, viene condotta all'oculare parallelamente al fascio di luce proveniente dalla stella, e che dall'obiettivo è pure rinviato in quella direzione. Con alcuni congegni si riesce a far prendere alla luce della candela normale la forma di una stella artificiale, che è visibile vicina alla stella naturale. Nel tubo C sono incastrati dei prismi di Nickol, che colla polarizzazione della luce, ruotando l'uno rispetto all'altro, possono indebolire gradatamente il raggio di luce fino ad estinguerlo. La rotazione dei prismi, la cui ampiezza può leggersi sul circolo *p*, fornisce una misura di quel-l'indebolimento, il quale può essere spinto fino a che la stella naturale appaia della

stessa intensità di quella artificiale. Poichè i corpi celesti che noi sottoponiamo ad esame hanno luci di diverso colore, così per rendere possibile un giusto confronto, si deve dare alla stella artificiale la stessa tinta: ciò si ottiene coll'introdurre nel tubo G un pezzo di cristallo di rocca, che a mezzo del circolo colorimetrico q, può venir girato, col che si ottiene la tinta voluta.

Con un cosifatto istrumento si possono istituire misure d'intensità luminose molto delicate, anche più di quelle che si possono fare coll'occhio armato di cannocchiale, sebbene anche così l'occhio acquisti con un lungo esercizio una mirabile sicurezza. Il poderoso lavoro, noto col nome di *Bonner Durchmusterung* (letteralmente "Rassegna di Bonn,) del cielo stellato, della quale dovremo ancora discorrere in seguito, contiene le valutazioni delle grandezze di tutte le stelle fino alla nona grandezza visibili nelle nostre latitudini, istituite da Argelander e dai suoi assistenti senza fotometro. Le misure istituite di poi con questo strumento, solo parzialmente, dimostrarono che due classi di grandezza successive, secondo Argelander, stavano fra loro quasi esattamente come 5 : 2; risultato molto interessante, ove si ponga mente che Argelander aveva scelto le sue classi di grandezza così, che ogni classe avesse per lui la metà di luce di quella immediatamente inferiore in grado. La misura esatta dà anche una graduazione più rapida della lucentezza, che non quella corrispondente all'impressione dell'occhio; ciò s'accorda perfettamente colla legge psico-fisica che Fechner ha svolto in tutte le sue diverse conseguenze; secondo la quale negli apprezzamenti che noi facciamo, non consideriamo già la differenza delle azioni che constatiamo, ma bensì il loro quoziente. Si constaterà perciò sempre più facilmente che un'azione debole aumenta d'alcun poco, che non l'aumento della medesima quantità di un'azione forte. Vedremo più tardi che nell'estimo delle enormi distanze delle stelle fisse da noi, la loro lucentezza ci torna di grande aiuto; si arriverebbe però a risultati assai falsi, quando non si considerasse questa graduazione della lucidità diversa da quella stabilita ad occhio.

Per poter confrontare fra loro le misure della luce di una stessa stella istituite a diversi gradi d'elevazione sull'orizzonte, era importante di poter determinare con qualche esattezza, quella che vien detta l'*estinzione della luce* attraverso alla nostra atmosfera. Müller in Potsdam, ha ad esempio constatato che a 18 gradi di elevazione sull'orizzonte una stella scende di una mezza classe rispetto alla lucentezza che essa ha allo zenit: a 10 gradi scende di una classe intera, di due a 4°, e di tre classi a 2°. Anche in queste ricerche si riconosce l'influenza del colore della luce della stella. Le stelle rosse vengono indebolite più delle azzurre.

---

5. — L'ANALISI SPETTRALE

I metodi, dei quali discorremmo finora, che ci servono a decifrare le notizie luminose che ci giungono dal profondo dell'universo, si riferivano soltanto alla ricerca della varia distribuzione della luce sopra una superficie, nonchè per riconoscere a mezzo di essa la forma, la posizione reciproca dei luoghi apparenti dei corpi celesti, quali noi li vediamo dal nostro luogo di osservazione, e, finalmente, la

conformazione della superficie dei corpi che ci appaiono più estesi. Noi abbiamo computato la quantità degli atomi eterei vibranti, che in determinato momento percuotevano i singoli elementi di una data superficie, sia questa poi quella della retina o della lastra fotografica. Ma questo computo ci poteva annunziare solo qualche cosa sulla distribuzione delle molecole sulla superficie di quei corpi celesti dai quali parte quello scuotimento degli atomi luminiferi, od in altre parole, con esso noi imparammo come appaiono i corpi celesti. La maggiore o minore lucidità delle loro parti, che ci svelano le particolarità della loro superficie, la loro maggiore o minore intensità di luce, come noi sappiamo, non è la conseguenza di scuotimenti degli atomi luminiferi, diversamemte potenti, ma bensì variamente rapidi.

Noi abbiamo già constatato più avanti, e precisamente come un incomodo fattore nella costruzione di un cannocchiale perfetto, che le vibrazioni luminose avvengono in realtà con diversa forza e con diversa rapidità. Ora poichè l'etere ci trasporta queste proprietà solamente da quei mondi lontani dei quali esse sono proprie, così la diversità delle percosse degli atomi può dirci alcunchè intorno agli avvenimenti interni dei corpi celesti, che può essere della più alta importanza per le nostre ricerche, giacchè la tinta stessa dei corpi celesti, può rivelarci qualche cosa intorno a quei fatti interni. Con questi noi dobbiamo divenire famigliari, per riconoscere la portata del metodo di ricerca, l'analisi spettrale, che investiga la tinta, o per parlare più esattamente la composizione della luce delle stelle.

Perciò noi dobbiamo di nuovo tornare sulla Terra, orientarci, e cercare di penetrare in quel microcosmo, i cui mondi sferici sono troppo piccoli perchè noi li possiamo scorgere: nel mondo cioè degli atomi e delle molecole.

Si può pensare che il modo di agire dei raggi di diverso colore sia di varia natura. Il fatto, che i raggi rossi quando attraversano un mezzo resistente sono meno deviati dal loro cammino, potrebbe dar luogo a credere che gli atomi eterei, che coi loro movimenti producono l'impressione della luce, attraversino lo spazio vuoto con velocità diverse. Un corpo che vola più rapidamente, ha come dice il fisico, una maggior quantità di moto, esso si lascia più difficilmente deviare dalla sua primitiva direzione, che non un altro che si muova più lentamente.

Ma ciò contradice all'esperienza. Si è riuscito a misurare la velocità della luce, e con ciò a trovare con tutta certezza, che tutte le qualità di luce si propagano colla medesima grandissima velocità di 300.000 km. al minuto secondo. Si ottenne ciò, facendo ruotare rapidamente una ruota dentata, negli interstizi della quale si faceva passare un raggio luminoso che percorreva fra due specchi un lungo cammino e veniva rinviato alla ruota dentata. Dopo aver percorso questo cammino ben determinato, il raggio di luce ritornava alla ruota, quivi il dente successivo all'intervallo gli intercettava la strada, così che essa non poteva più essere veduto da un occhio posto dietro la ruota. Raddoppiando il percorso o la velocità della ruota, il raggio diveniva di nuovo visibile, giacchè esso poteva sfuggire attraverso al successivo intervallo e così via. Si adoperarono luci di diverso colore, e non si constatò alcuna differenza nella durata del percorso. Anche nelle manifestazioni di tutti gli avvenimenti celesti, si ritrova senz'altro la prova, che tutte le sorta di luce hanno eguale velocità. Così, ad enormi distanze da noi, che la luce

attraversa solo in anni, vi sono stelle la cui luce varia a regolari intervalli di tempo, che sono chiamate stelle variabili, e che sono fra gli oggetti celesti più interessanti. Vedremo più tardi, che per talune fra esse queste variazioni di luce sono cagionate da corpi oscuri vicini e che circolano attorno a loro. Ora se la luce bianca di queste stelle fosse composta di luci diverse e di diversa velocità, queste dovrebbero giungere a noi in istanti molto diversi, e la stella ci dovrebbe apparire successivamente di diverso colore: ora ciò non si verifica.

In queste ultime considerazioni, abbiamo avuto per base la teoria della luce detta dell'emissione, la quale ammette che dal corpo luminoso emani una specie di materia luminosa, che giunge poi al nostro occhio. In tale supposizione l'atomo luminifero che percuote un elemento della nostra retina, sarebbe stato realmente una parte materiale del corpo lucente. Ma noi dobbiamo ora abbandonare questo modo di vedere. Irradiando luce i corpi nulla perdono della loro massa, come nulla acquistano i corpi illuminati. Tutto il procedimento dell'irradiazione luminosa, ha una grandissima rassomiglianza con quello della propagazione del suono nell'aria, che l'esperienza ha indiscutibilmente dimostrato consistere in un moto ondulatorio dell'aria, così che noi possiamo ritenere che quello sia, pure dovuto ad un moto ondulatorio non dell'aria, ma di un mezzo eccessivamente tenue, l'etere che riempie tutto lo spazio cosmico. Oltre la velocità di propagazione della luce noi dobbiamo concepire ancora delle ondulazioni più minute, durante le quali la particella eterea che oscilla attorno ad una posizione media, non procede in generale in nessun senso.

Questa completa indipendenza del moto ondulatorio che si propaga, dal mezzo che vibra, si può osservare ben distintamente alla superficie dell'acqua sotto date circostanze, come ad esempio sul lago di Ginevra a Bouveret ove il Rodano s'immette nel lago. Il Rodano è qui per lo più torbido e colorato in giallo dalla sabbia che la rapidissima corrente trascina dai ghiacciai. Ora poichè l'acqua del fiume è molto più fredda di quella del lago colorata in azzurro cupo, così in causa della sua maggior densità, cade verso il basso, dopo aver perduto la sua velocità di corrente. L'acqua azzurra e la gialla appaiono ben nettamente separate. Ma se il lago è agitato le onde scorrono indifferentemente sopra questa linea di separazione. Sebbene qui le particelle dell'acqua gialla si precipitino rapidamente al fondo, mentre quelle dell'acqua azzura non hanno alcun movimento progressivo, tuttavia entrambe partecipano periodicamente al ritmico movimento oscillatorio in su ed in giù delle onde, ed all'osservatore pare che l'acqua scorra colla stessa rapidità con cui procede l'increspatura delle onde.

Per mettere d'accordo questa teoria delle onde col diverso modo di comportarsi dei diversi colori, noi dobbiamo ammettere che esso dipende dalla grandezza e frequenza delle onde luminose, come appunto accade per il suono. Ma come possiamo noi misurare queste onde luminose, che sono di per sè completamente invisibili?

Prima di tutto a tal fine noi dobbiamo imparare a separare la miscela di colore che ci è inviata da un corpo luminoso, nelle varie specie di luce che la compongono, affine di poter investigare separatamente la lunghezza d'onda di ciascuna tinta. Occupandoci della costruzione del telescopio noi ne abbiamo già imparato un mezzo. Vedemmo allora che ogni lente di vetro decompone la luce

bianca nelle sue tinte componenti, e ci volle tutta la nostra arte, per evitare colla combinazione di due lenti questa dispersione di colori cotanto incomoda. Ora questo inconveniente ci viene invece assai a taglio. Il cardine di quell'istrumento che viene adoperato alla separazione della luce, lo spettroscopio, consiste in un pezzo di vetro, il quale si può considerare come un elemento ingrandito di una tal lente. Esso è un cuneo di vetro, un prisma. E noto che in un prisma si vedono tutti gli oggetti con un orlo colorato. La cagione di questa apparenza la conosciamo; noi la troviamo nelle varie resistenze che le vibrazioni luminose degli atomi dell'etere incontrano nelle sostanze che attraversano. Noi sappiamo inoltre che la deviazione deve avvenire come è disegnato nella figura: in essa S è un fascio di raggi luminosi che a mezzo di uno specchio, attraverso ad una fessura, vengono condotti ad un prisma: fra i raggi componenti la luce bianca del Sole, quello rosso è il più deviato, quello violetto il meno. Come già ci insegna lo specchio, noi vediamo un oggetto nella direzione tenuta dall'ultimo elemento del raggio che giunge al nostro occhio, quindi noi, attraverso ad un prisma, vedremo l'oggetto rosso in una posizione diversa da quella dell'oggetto violetto, sebbene entrambi si trovino sulla stessa direzione. Quindi se un corpo risplende di varii

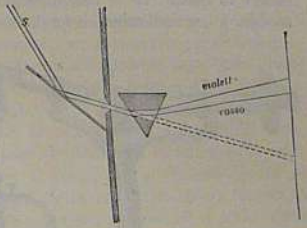


Fig. 30. — Disperazione dei colori della luce bianca attraverso ad un prisma.

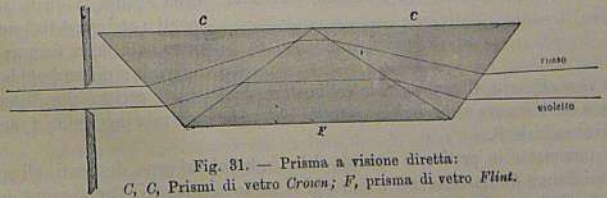


Fig. 31. — Prisma a visione diretta:
C, C, Prismi di vetro *Crown; F,* prisma di vetro *Flint.*

colori, il prisma darà per ogni tinta una immagine speciale di esso, e l'una di seguito all'altra, così che noi vedremo l'oggetto coi lembi colorati, poichè le varie immagini mordono l'una sull'altra, mentre nel mezzo le varie tinte si riuniscono di nuovo in luce bianca. Si è la stessa circostanza che fa che in un cannocchiale non acromatico le immagini appaiano mal definite.

Per lo scopo che ci siamo prefissi, noi non abbiamo bisogno di vedere l'oggetto che studiamo ben delimitato, giacchè in generale noi non vogliamo vederlo, ma solamente vedere i suoi colori così ordinati quali noi li vediamo agli orli di un'immagine, ad esempio di una casa. Così si vede che nel costruire un istrumento per quel fine, conviene non lasciar entrare che la luce che proviene da quel lembo. Ciò si ottiene semplicemente, ponendo davanti al prisma una apertura strettissima, quasi lineare, attraverso alla quale passa solamente la luce che

si vuole analizzare. Questa fessura, che senza il prisma, disegnerebbe sopra uno schermo una linea lucente, se attraversata dalla luce solare, disegna coll'aiuto del prisma, una bella striscia colorata, poichè ciascuna delle tinte che compongono la luce solare disegna sullo schermo una linea. Questa striscia colorata vien detta *lo spettro* del corrispondente oggetto luminoso. Lo spettroscopio, per mezzo del quale lo si osserva, consiste essenzialmente di quella fessura e di un prisma, tutte le altre cose che vi sono annesse servono solamente a rendere più netta l'immagine della fessura e la visione dello sguardo del ricercatore, e a facilitare esatte misure di quello che si vede. L'annessa figura rappresenta il semplicissimo apparecchio, le cui indicazioni, bene intese, nel breve tempo di trent'anni, dacchè esso fu applicato alle indagini celesti, bastarono a fornirci non mai prima pensate cognizioni sulla costituzione dei mondi più lontani.

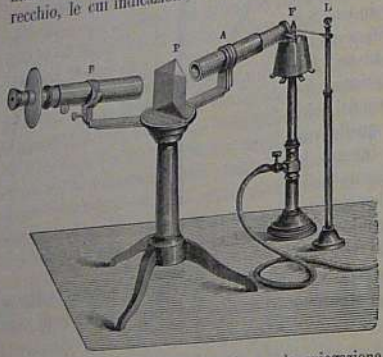


Fig. 32. — Spettroscopio (Vedi il testo per la spiegazione delle lettere).

Nella figura 32 si vede la fiamma F, nella quale viene bruciata la sostanza di cui si vuole investigare l'irradiazione colorata. Il sostegno L porta la fessura della quale si può regolare la larghezza. Il piccolo cannocchiale A serve a raccogliere i raggi della fessura, i quali altrimenti a cagione della grande prossimità della fiamma divergendo si disperderebbero: esso vien chiamato il cannocchiale collimatore. In P sta il prisma che distende la linea della fessura nella striscia spettrale, che viene osservata ingrandita a mezzo del cannocchiale B.

Naturalmente in pratica, a seconda delle indagini cui sono destinati, gli spettroscopi hanno forme differenti e son più o meno complicati. Per l'esame delle stelle fisse, che per noi sono meri punti lucenti, si può ommettere il collimatore e la fessura, giacchè il fascio di raggi è già di per sè abbastanza sottile. Così una stella non ci darebbe nello spettroscopio una striscia, ma bensì una linea a tratti colorati; per ottenere una striscia spettrale bisogna ricorrere ad una lente cilindrica, che mostra la stella come una linea; il prisma converte poi questa linea in una striscia. Inoltre si è immaginato un sistema di prismi che evita l'incomoda deviazione dei raggi, che va unita alla rifrazione attraverso ad un prisma. Con ciò viene a rendersi molto difficile il ritrovamento di un oggetto celeste, giacchè esso, negli spettroscopi ordinari, appare in una direzione affatto diversa da quella che i raggi avevano originariamente.

Si deve poi distinguere lo spettroscopio oculare da quello obbiettivo; solo il primo è quasi esclusivamente adoperato. Come lo dice il suo nome, esso è applicato all'oculare del cannocchiale, e può anche essere relativamente piccolo. Per

contro nello spettroscopio obbiettivo, un grosso prisma è fissato davanti all'obbiettivo. L'immagine delle stelle, che nelle circostanze ordinarie si possono vedere col cannocchiale, vengono da questo prisma allungate in sottili striscie colorate, che vengono poi ancora guardate coll'oculare. Pickering (in Cambridge, Nord America) va da parecchi anni passando con un così fatto spettroscopio una rivista del cielo, servendosi anche, come vedremo meglio più avanti, della fotografia. Egli ha già ottenuto e studiato diecine di migliaia di spettri celesti. Per tali rilievi in massa, lo spettroscopio obbiettivo è da preferirsi a quello oculare, ma con esso non si possono istituire delicate ricerche di dettaglio.

Collo spettroscopio noi possiamo separare l'una dall'altra le varie qualità di luce che ci sono inviate da un corpo luminoso, per esaminarle separatamente. Rivolgiamo ora il nostro prisma ad una sorgente terrestre di luce, sulla quale possiamo esercitare il nostro controllo, ad esempio ad una fiamma di candela, noi vedremo nello spettroscopio una bella ed ininterrotta striscia colorata (V. tavola). Nella luce della candela si riscontrano tutte le immaginabili gradazioni di tinte, che sono innumerevoli. Da una parte, il meno deviato dalla direzione della retta che unisce l'occhio alla candela, si osserva il rosso, che gradatamente passa al giallo lucente e da questo al verde; cui tien dietro una larga fascia azzurra, e lo spettro finisce con un violetto che diviene ognor più debole. Nella serie accennata e con simile gradazione, anche la frequenza dei colpi delle onde luminose deve diminuire, a seconda della nostra teoria. La luce della fiamma della candela è prodotta da minutissime particelle di carbone che divengono incandescenti, quelle stesse che si depositano sotto forma di fuligine quando la fiamma per mancanza di ossigeno nell'aria, non possiede più abbastanza calore per portare le particelle di carbone all'incandescenza e quindi bruciarle.

Pare quindi che un corpo reso incandescente fino al bianco emetta onde luminose di ogni sorta e forza, ciò che noi troveremo realmente confermato dall'esperienza. Anzi v'ha di più, qualunque sia il corpo che noi possiamo portare fino al calore bianco, esso produrrà sempre attraverso al prisma una striscia ininterrotta e colorata, che vien detta *uno spettro continuo*. Però in tali esperimenti si deve evitare che la sostanza che si investiga, in causa del calore che le si fornisce, non si vaporizzi contemporaneamente.

Se ciò avviene, lo spettro subisce una modificazione essenziale, che si può osservare bruciando nella fiamma della candela un po' di sale da cucina. Immediatamente una piccola parte determinata risplende di giallo lucente, finchè il sale si sia vaporizzato. Eseguiamo lo sperimento con una fiamma poco risplendente, come ad esempio, quella dell'alcool, che possiede perciò uno spettro appena appariscente; subito che noi bruciamo in essa la benchè minima traccia di sale da cucina, appare in un luogo determinato ed invariabile dello spettro una linea giallo chiara, da ciò noi dobbiamo concludere che le molecole componenti il sale da cucina, nel momento in cui sotto l'azione del calore si vaporizzano e risplendono, si trovano in uno stato vibratorio particolare, che esse comunicano agli atomi dell'etere, producendo onde luminose di una sola forma, che dal mezzo resistente del prisma vengono deviate in un modo speciale, più dei raggi rossi e meno di quelli azzurri.

In questa luce speciale *monocromatica* del sale da cucina noi acquistiamo un

mezzo di ricercare più da presso queste speciali onde luminose, giacchè noi le troviamo così ben separate dalle altre azioni luminose.

Noi possiamo quindi accingerci ad imparare a conoscere per ogni tinta separatamente le proprietà principali delle onde luminose, la loro lunghezza e la loro velocità; giacchè siamo riusciti ad effettuare la separazione dei colori. Ma come possiamo noi misurare le onde luminose così manifestamente corte e rapide? Dobbiamo applicare una qualsivoglia speciale proprietà delle onde, e per ciò fare non v'ha di meglio che studiare bene attentamente la sola specie visibile di onde a noi accessibile, quelle della superficie dell'acqua. Il tener dietro alla loro grandezza e velocità, mentre sulla superficie si van rincorrendo rapide e continuamente mutabili, sarebbe anche per queste onde grosse assai difficile, quando non ci riescisse di aiutarci con qualche artifizio. Questo ci è fornito dalla così detta *onda permanente*, che si può produrre gettando in un'acqua tranquilla contemporaneamente e con egual forza due pietre in due punti diversi. Non appena i circoli d'onda che si manifestano attorno ai due punti di caduta vengono ad intersecarsi, nei loro punti d'intersezione si formano delle onde ferme, di una volta maggiori di quelle che s'allontanano alla stessa distanza dal centro di caduta, mentre fra queste onde più elevate l'acqua rimane perfettamente immobile. L'annessa figura schematica dimostra chiaramente come il fenomeno avvenga. I circoli continui rappresentano le creste delle onde, quelli a tratti le valli; entrambe si propagano così che dopo breve tempo si trova un rialzo là dove si aveva un incavo. Lungo le linee segnate con — s'incontrano sempre, come si vede facilmente, il rialzo di un sistema con un incavo dell'altro, così che le loro azioni si elidono, e l'acqua rimane immobile. Lungo le linee segnate con + per contro, in un dato istante, vengono a sovrapporsi il rialzo di un sistema e quello di un altro, e nel successivo due incavi; qui pertanto il movimento dell'acqua sarà doppio. Ora poichè i punti d'incontro dei cerchi, per quanto questi possano allontanarsi, rimangono allo stesso punto, così anche queste onde raddoppiate non si muovono dal loro sito, cosicchè noi possiamo studiarle a tutto nostro agio.

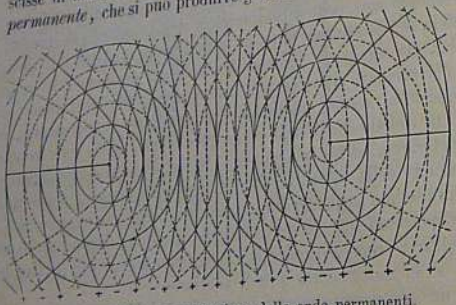


Fig. 33. — Schema a spiegazione delle onde permanenti.

Se ora l'azione luminosa è realmente la manifestazione di un simile moto ondoso, noi dobbiamo anche saper produrre così fatte onde luminose, le quali si renderanno a noi manifeste così, che per l'azione reciproca di due sorgenti luminose si formeranno dei luoghi oscuri fra altri particolarmente chiari; in questi ultimi si trovano le onde permanenti o ferme, fra le quali le azioni delle due sorgenti di luce si elidono. Si ha così la notevole conseguenza della teoria ondulatoria

della luce, che in date circostanze aggiungendo luce a luce deve prodursi l'oscurità, e questo fu verificato dai fatti, e diede a suo tempo una inoppugnabile dimostrazione della giustezza di questa teoria.

Si può fare facilmente l'esperimento relativo collo specchio di Fresnel. Per non lasciare alcun vuoto nella serie delle nostre dimostrazioni, esponiamolo qui succintamente, giacchè per le ricerche celesti d'analisi spettrale è di capitale importanza l'intendere questi fenomeni delle onde luminose.

Separinsi, a mezzo di un appropriato sistema di specchi, i raggi di una sorgente di luce, la quale emetta una sola specie di luce, un sol colore, come ad esempio la linea gialla del sodio, e si facciano cadere i raggi di nuovo riuniti sopra uno schermo in guisa che la lunghezza del loro cammino per giungere ad un determinato punto dello schermo sia differente da quello che conduce al medesimo punto i raggi dell'altra sorgente di luce: allora si osservano allineate ed alternantisi delle linee chiare e delle linee oscure, che corrispondono esattamente alle onde permanenti. Questo fenomeno è detto *interferenza* dei raggi luminosi. Senza dubbio esso proviene da ciò, che in un determinato luogo giunge da un raggio la cresta di un'onda, mentre dall'altro vi giunge la successiva depressione ondosa, che si combina con quella, distruggendo così il movimento luminoso, il che produce oscurità, mentre un po' più lontano si combinano due creste ondose successive dei due raggi, col che la luce viene ad essere raddoppiata. Misurando la distanza delle onde permanenti fra loro e paragonando queste lunghezze colle differenze di percorso dei due raggi luminosi, si può calcolare immediatamente la grandezza delle onde luminose.

Ciò fu fatto per tutte le tinte dello spettro continuo: e si è constatato, come era prevedibile, che le gradazioni di tinte che vanno insensibilmente trapassando dall'una all'altra, hanno anche lunghezze d'onda di pochissimo differenti, e che vanno man mano crescendo dal violetto al rosso. I loro valori assoluti sono estremamente piccoli. Per il principio del rosso nello spettro si è trovato una lunghezza d'onda di 760 millionesimi di millimetro, quantità così piccola che non riusciamo a rappresentarci, ma che coll'abile disposizione delle esperienze di misura fu determinata molto esattamente. Per gli ultimi raggi violetti ancora constatati dal nostro occhio, si ottenne una lunghezza d'onda circa la metà della precedente. Riprendendo il paragone col suono, si può dire che il nostro occhio comprende quasi esattamente un'ottava, ed è quindi nella sua sfera d'azione molto più limitato dell'orecchio che si estende a circa dieci ottave. Ma le vibrazioni dell'etere, non cessano per nulla ai limiti della visibilità. Discorrendo della fotografia abbiamo già avvertito che si hanno dei raggi ultra-violetti, e qui possiamo completare dicendo che speciali ricerche hanno dimostrato che lo spettro si estende notevolmente anche al di là del rosso; così che la scala comincia con 0,0019 mm. e termina con 0,00029 mm.; quindi all'infra-rosso appartengono parecchie ottave di raggi che segnatamente apportano calore, una sola ottava corrisponde alla luce visibile, ed un'altra all'ultra-violetto, specialmente di raggi chimici.

A noi interessano egualmente tutte queste tre specie di raggi, giacchè noi desideriamo di dedurre a mezzo di essi delle cognizioni sui procedimenti che si svolgono nell'interno di quei lontani corpi celesti che emettono queste vibrazioni eteree. Noi dovremo anche constatare quanto rapidamente si seguitino l'un l'altra queste

vibrazioni. Ciò si può verificare facilmente: poichè noi sappiamo già come tali onde si propaghino rapidamente nello spazio. Ora poichè le onde si succedono ad intervalli eguali, così tutto il cammino percorso dalla luce, deve essere egualmente occupato da queste onde. Sul tratto di 300,000 km., che tutte le sorta di luce percorrono in un minuto secondo, si trovano così 400 billioni di onde della lunghezza di quelle dell'estremo infra-rosso, lunghe ciascuna tre millesime parti di un millimetro, poichè 300,000 km. sono uguali a 300 billioni (300,000,000,000,000) millesimi di millimetro. Nella durata di un secondo tutte giungono al nostro occhio; a produrre quindi l'azione di quei raggi invisibili dell'infra-rosso si richiedono, in un minuto secondo, 400 billioni di urti eterei. Ora quanto più corte diventano le onde, vale a dire quanto più noi ci accostiamo all'estremo violetto dello spettro, tanto più numerose sono le onde che si trovano sullo stesso percorso, e quindi con tanto maggior frequenza debbono esse percuotere sopra una superficie in riposo. Il primo rosso visibile si farà quindi manifesto con circa 400 billioni di onde, l'ultimo violetto visibile con una volta di più, e l'estremo ultra-violetto con non meno di 1600 billioni d'oscillazioni in un minuto secondo circa.

Come è piccolo il mondo, nel quale avvengono questi rapidissimi movimenti naturali, colla stessa incrollabile sicurezza colla quale procedono quelli dei mondi immensi sopra di noi! La lunghezza della più piccola vibrazione luminosa entra ben 400 volte nello spessore di un capello, che noi siamo avvezzi a considerare come il minimo spessore concepibile. Riducendo in simile guisa il nostro concetto di tempo, noi potremmo immaginare un essere che potesse riconoscere come intervallo sensibile la vibrazione del più rapido dei raggi luminosi, che per essere constatato da noi dovrebbe essere almeno un decimo di secondo. Per un tale essere la sensazione del tempo s'allungherebbe di 160 billioni di volte, e se egli vivesse relativamente quanto un uomo, la sua esistenza durerebbe quanto un centomillesimo dei nostri secondi. Che creature enormemente grossolane siamo dunque noi uomini, rispetto a quel tessuto di onde, della luce, dei colori, del calore, del suono, che ne circonda nello spazio vuoto in apparenza, e che eccita tutti i nostri sensi. Davvero che senza posa lavora la natura fin nelle più recondite profondità!

Queste piccolissime vibrazioni dell'etere sono, lo vedemmo, la conseguenza dei movimenti interni delle più minute particelle dei corpi, dai quali esse emanano. Questo processo non si può altrimenti concepire, che ammettendo che la struttura della materia sia così fine che le sue singole parti si muovano liberamente e descrivano l'una intorno all'altra delle orbite che provocano quelle vibrazioni dell'etere. Ogni molecola, delle quali ogni granello contiene migliaia e migliaia, e che appena col microscopio possiamo distinguere, è simile ad un sistema solare, nel quale gli atomi circolano come pianeti, e quando il vapore s'innalza sulla materia in combustione, essi si scompongono e diventano come una via lattea nell'universo, che noi chiamiamo la nostra camera; si ripete in questo ciò che sopra noi in cielo ère di secoli vedono compiersi.

Noi non ci lasciamo trasportare dalla fantasia. Il microscopio ci insegna che si hanno sistemi ben determinati ed uniti di atomi, che composti di uno o più corpi circolano in prefisse invariabili orbite attorno al centro della loro molecola, o per lo meno certamente vibrano; come si potrebbe altrimenti spiegare, che ogni materia ha il suo determinato immutabile numero di vibrazioni. Abbiamo già

SPETTRI DI VARI CORPI CELESTI

constatato che il sodio volatilizzato mostra nello spettroscopio una o più esattamente due linee gialle quasi eguali, che l'etere suscita compiendo in un secondo 505 billioni [1] di vibrazioni lunghe 589 millionesimi di millimetro. Ora, senza dubbio, movimenti di tal fatta devono verificarsi nelle molecole del sodio, giacchè si constata, che ovunque, sempre, sotto qualsiasi circostanza il vapore di sodio proveniente da una sorgente terrestre mostra questa medesima linea gialla, senza deviare mai di una benchè insensibile gradazione verso il rosso o verso l'azzurro; ne segue con tutta evidenza che la molecola del sodio ha una costituzione invariabile per rispetto al numero delle sue parti, alla grandezza e velocità dei moti periodici di questi corpi separati, come constatiamo nel nostro grande sistema solare.

La stessa cosa si presenta qualunque sia il corpo che noi saggiamo allo spettroscopio: Ogni corpo irradia una determinata miscela di tinte, che non muta mai, e che è diversa per ciascuno degli innumerevoli corpi che costituiscono il mondo. Ogni molecola di un elemento chimico consta quindi di un numero invariabile di corpuscoli circolanti in orbite fisse, che sono capaci di comunicare determinate vibrazioni all'etere circostante. Tuttavia il numero dei membri di tale sistema solare di molecole può essere assai differente, e deve naturalmente potersi misurare dal numero delle linee che si osservano nello spettroscopio. Nel maggior numero delle sostanze che noi riguardiamo come semplici ed inscindibili, i cosi detti elementi chimici, lo spettroscopio ci mostra molte linee, cosicchè questi microcosmi molecolari devono formare sistemi di mondi molto complicati, che in alcuni casi, come quello del ferro, devono constare di parecchie migliaia di atomi pianeti, se però le nostre cognizioni non falliscono. Molte linee di uno spettro complicato si possono paragonare coi toni secondari che si possono derivare da un tono fondamentale. Alcune leggi nel raggruppamento delle linee si scorgono facilmente. I sistemi molecolari semplici, come quello del sodio, sono rari: tra questi il tallio con una sola linea verde, il litio con due linee rosse. Anche l'idrogeno, quell'elemento leggiero cotanto sparso in natura, sembra essere di costituzione assai semplice, perchè nello spettroscopio esso mostra solo tre linee visibili, una nel rosso e due nell'azzurro, e nell'azzurro-verde rispettivamente; mentre esso nella parte invisibile dello spettro possiede ancora nove altre linee. Nelle nostre tavole riproduciamo in disegno alcuni di questi sistemi di linee.

Ora poichè, come si disse, ogni sostanza ha il proprio sistema speciale di linee, così da queste quella potremo riconoscere, anche a mezzo di minime quantità; ed infatti a mezzo dell'analisi spettrale si è scoperto buon numero di elementi contenuti in altre miscele chimiche, ma in così piccola dose, che cogli ordinari metodi d'analisi chimica, non sarebbe mai stato possibile lo scoprirli: fra questi l'indio ed il tallio. La distanza alla quale sta da noi il corpo da analizzarsi non ha alcuna influenza; poco monta che il vapore luminoso stia ad immediata vicinanza della fessura dello spettroscopio, o sopra un monte lontano, o sopra una stella infinitamente distante. Purchè giungano a noi le onde vibranti della luce, noi sappiamo dire con sicurezza da quali sostanze essa emana.

La massima parte dei filosofi ritiene che questa conclusione debba accogliersi soltanto con una grande probabilità, non con quella certezza logica di cui vanno fornite

(1) La tavola a pag. 79 contiene dati più precisi.

molte verità astronomiche. Quando ad esempio nella luce solare noi ritroviamo migliaia delle linee terrestri del ferro, noi potremmo, usando l'espressione del calcolo delle probabilità, scommettere un milione contro uno, che nel sole veramente vi è del ferro, ma tuttavia si potrebbe anche scommettere non essere assolutamente certi, che fra un milione di probabilità, potrebbe anche avvenire che solo casualmente tutte queste linee coincidano con quelle del ferro, mentre invece esse provengono da una o più sostanze affatto differenti. Ma per dare intiera chiarezza ai metodi di ragionamento della nostra scienza, dobbiamo qui esporre un'altra serie di conclusioni, che alla persuasione sopra espressa fornisce una base più larga o più regolare. Tutte le serie dei nostri ragionamenti sono ad un loro estremo attaccate ad una ipotesi. Le ipotesi sono in molti casi le leggi stesse di natura. Ogni ipotesi viene dedotta da una quantità di fatti, cioè si fa una supposizione che spiega tutti questi fatti, partendo dalla quale si può logicamente giungere ad ulteriori conclusioni. Quanto più queste conclusioni logiche, teoriche vengono in seguito confermate dai fatti, tanto più si consolida la supposizione fondamentale di quella legge di natura. Vedremo più tardi che non altrimenti si regge la legge della gravitazione universale, che governa tutti i movimenti dei corpi celesti, e che trovò milioni di conferme dalla pratica, cioè dai fatti. Anche questa è e rimane unicamente un'ipotesi, la quale, come si comincia ad ammettere, in certi casi abbisogna di correzioni.

La chimica moderna raccoglie ognor più numerosi fatti, che provano che i fenomeni della reazione chimica devono riposare sulle stesse semplici leggi meccaniche, come i movimenti dei grandi corpi celesti, ossia in altre parole che in una combinazione chimica, non si tratta di altro che della riunione di uno o più di quei sistemi planetari molecolari in uno solo, nel quale gli atomi vengono a raggrupparsi in modo novello a seconda della loro grandezza e velocità di rivoluzione. In un tal caso lo spettroscopio non mostra alcuna variazione della durata d'oscillazione dei singoli atomi. Un composto chimico mostra sempre fra loro vicine e mescolate le linee che spettano a ciascuna delle sostanze componenti, quindi la combinazione non ha per nulla modificato i movimenti interni.

Se ora noi innalziamo a legge la congetturata dipendenza dei processi chimici dai principii della meccanica pura, sebbene essa non sia giunta ancora al punto da meritarlo, allora dalla coincidenza delle linee spettrali di due sorgenti di luce segue a fil di logica la coincidenza delle loro proprietà chimiche. Poichè ogni linea spettrale corrisponde senza dubbio ad una determinata reazione meccanica sull'etere circostante, nella supposizione pur ora fatta, segue da ciò, che anche le sue reazioni chimiche, che sottostanno agli stessi principii, devono essere le medesime, quando due sorgenti di luce mostrano le stesse linee. Se pertanto noi dimostriamo spettroscopicamente che sul Sole vi è un corpo, che mostra di avere tante reazioni luminose coincidenti con quelle del ferro, quanto i nostri metodi attuali d'investigazione ci permettono di riconoscere, allora è logicamente certo, che se noi potessimo portare questa sostanza dal Sole nel nostro laboratorio chimico ed esaminarvela, essa presenterebbe altrettante reazioni chimiche identiche a quelle del ferro, vale a dire per noi sarebbe praticamente del ferro. Questa argomentazione richiede unicamente che si ammetta un solo assioma generale, in virtù del quale si possa conchiudere con logica sicurezza, dalle apparenze spettrali, alla natura chimica della sostanza

corrispondente, mentre prima ogni coincidenza di linee rendeva necessaria una speciale affermazione di probabilità.

Così questo semplicissimo fra i mezzi d'indagine, il prisma di vetro, ci ha posto in grado di constatare di quali sostanze il mondo, fin nelle sue più lontane profondità, sia stato composto. Ma v'ha di più. Lo spettroscopio non ci dà solamente contezza della composizione chimica di quei mondi, ma ci dice anche alcunchè intorno al loro stato d'aggregazione, e sul loro calore, e, il che costituisce uno dei più mirabili risultati di questo ramo dell'astronomia, sui loro movimenti. Cinquant'anni fa sarebbe stato ben deriso quel visionario che avesse affermato che era possibile, con un semplice sguardo ad un fuoco, ardente sopra un monte lontano, il dire con sicurezza ciò che vi ardeva, fosse pur stato la miscela più complicata di sostanze, e di più l'affermare se il fuoco s'accostava o s'allontanava da noi, e di quanti chilometri in un secondo. Noi oggidì facciamo ciò, anche se l'incendio divampi sul più lontano dei mondi.

Addentriamoci alquanto nella meravigliosa compagine di questa serie di nuove conclusioni, che spinge il nostro sguardo intellettuale ben al di là di quanto possa il cannocchiale, nel tessuto molecolare dei corpi celesti. Lo spettroscopio non ci fornisce sempre quella contezza della costituzione chimica del corpo luminoso, che ottenemmo esaminando col prisma la luce di una candela. Esso ci dava uno spettro continuo, identico a quello di tutte le sostanze, solide o liquide incandescenti, ma non evaporizzantisi nel tempo medesimo. Anche tutti i corpi che non risplendono di luce propria, ma di luce imprestata, nulla ci dicono, nel colorato linguaggio dello spettroscopio, circa la loro costituzione chimica superficiale; la loro luce mostra solo le proprietà della sorgente primitiva, il Sole. Questi corpi non fanno che deviare le onde luminose dal loro cammino primitivo, senza per nulla alterarne l'essenza. Fanno eccezione solo i corpi provvisti di atmosfera. Ma nei corpi solidi portati al bianco incandescente, dietro le attestazioni dello spettroscopio ne è forza ammettere che i loro sistemi molecolari si sono già fatti così vicini, che si perturbano a vicenda, i loro movimenti si confondono, così che l'etere circostante vibra in tutti i modi possibili, dall'estremo violetto, fino ai raggi calorifici che sempre emanano da tali corpi. Ne segue che per il confondersi di tutte queste lunghezze d'onda, il corpo irradia il calor bianco.

Col progredire del raffreddamento le molecole s'accostano ognor più, e col crescere degli impedimenti perdono di velocità. Prima si fermano le più rapide, quelle violette, poi le azzurre e così via, finchè per ultimo vibrano solo le rosse, ed il corpo passa al calor rosso; finalmente si fermano anche queste, ed il corpo non irradia più che calore. In questo procedimento di raffreddamento, lo spettroscopio non mostra altro che la striscia continua colorata, la quale poco per volta svanisce, cominciando dal violetto e per l'ultima l'estremità rossa. Le varie sostanze non presentano differenza di sorta, ciò che noi potevamo prevedere. In questo caso lo spettroscopio non può prestarci alcun servizio speciale; se però noi già sapessimo qual è il corpo che risplende, noi potremmo dalla lunghezza della parte di spettro ancora visibile, determinare in quale stadio si trova fra il bianco rovente ed il rosso, e quindi determinare la sua temperatura.

Ciò non avviene in Astronomia. In natura non si verificano che raramente dei processi semplici quali noi possiamo con minute e difficili precauzioni realizzare

nei nostri laboratorii di fisica. Ogni corpo rovente vaporizza sempre una parte della sua materia, cioè dalla massa delle sue particelle vibranti si diparte un numero di molecole, i cui atomi riacquistano così la loro piena mobilità, e quindi scuotono l'etere colle vibrazioni che loro sono proprie, almeno fin che queste sono abbastanza potenti, da poter risplendere. Se in una sfera di ferro rovente noi non osserviamo queste molecole, ciò proviene dal loro esiguo numero, che ancora poi vien disperso in tutte le direzioni. Ben diversamente avviene colle innumerevoli sfere lucenti che si librano nello spazio: esse trattengono le particelle che furono espulse, e formano così l'atmosfera che le avvolge. Ma noi possiamo, come si disse, investigare con sicurezza la loro costituzione chimica a mezzo dello spettroscopio.

Dove noi vediamo solo dei gas, si presentano allora quelle linee lucenti, delle quali già conosciamo l'origine ed il significato. Esse si mostrano nette al lembo del Sole, ove noi non vediamo altro che l'atmosfera incandescente che esso trattiene intorno a sè. Le cose sono ben diverse, dirigendo lo spettroscopio al corpo stesso del Sole. Noi vediamo dapprima lo spettro continuo di una massa rovente. Poi a questo deve sovrapporsi lo spettro del suo involucro gassoso, così noi dovremmo ammettere che tutte le linee lucenti che noi vedemmo sul lembo solare qui appaiono ancora più lucenti, perchè qui si sommano due azioni luminose. Ma in realtà avviene invece perfettamente l'opposto: non appena si trasporta lo spettroscopio dal lembo verso il mezzo, le linee lucide si trasformano repentinamente in oscure; nei luoghi corrispondenti la striscia colorata s'interrompe e si genera uno *spettro discontinuo.* (Vedi la Tavola degli spettri).

Se ora, colla scorta delle precedenti considerazioni, ci rappresentiamo i processi che si svolgono in ogni molecola lucente, troveremo che l'apparente contradizione di quella curiosa manifestazione, *l'inversione dello spettro*, come è chiamata, si risolverà in una valida conferma delle nostre vedute su questi processi interni. Noi abbiamo chiamato le molecole minuscoli sistemi solari, in cui gli atomi circolano attorno al comune centro di gravità con velocità misurate dalle lunghezze delle onde che emettono. Per ogni corpo della stessa composizione chimica, queste velocità rimangono invariate, per contro la grandezza dell'orbita o dell'impulso delle vibrazioni eteree determinate da questo movimento orbitale è misurata dall'intensità della luce emanata. Ora l'intensità delle vibrazioni eteree emesse dal vero corpo solare, sono senza dubbio molto più grandi di quelle dell'atmosfera solare, poichè la sorgente di tutte queste irradiazioni è sita nel corpo solare. Ammettiamo per semplicità che l'atmosfera solare consti di un solo gas, producendo una linea sola nello spettro. Questo guscio gassoso è attraversato dalle vibrazioni eteree d'ogni velocità ed intensità, del corpo solare, che producono lo spettro continuo. Queste oscillazioni, questi impulsi eterei dovranno influenzare i movimenti degli atomi gassosi. Ma poichè esse sono di tutte le possibili grandezze, così le perturbazioni dei movimenti che producono, si elimineranno in parte, così che in complesso le ondulazioni luminose che si dipartono dall'involucro, e che giungono a noi, non subiscono alcuna alterazione essenziale.

Fa eccezione una sola ondulazione luminosa, quella che dal corpo solare giunge all'involucro gassoso, e la cui velocità corrisponde esattamente a quella posseduta dagli atomi del gas. Giacchè qui gli atomi eterei della luce e quelli del gas stesso, vibrano col medesimo ritmo, così essi s'incontrano sempre al medesimo luogo della

loro orbita, e le loro azioni possono solamente sommarsi. Pertanto questa specie particolare di vibrazioni eteree aumenta i movimenti interni delle molecole gassose. Perciò gli atomi eterei debbono produrre lavoro, la loro forza viene assorbita e non può più manifestarsi a noi come luce. Pertanto nello spettro solare continuo, al sito corrispondente, si dovrebbe manifestare una linea oscura, quando le molecole del gas non emettessero di per sè stesse delle vibrazioni, che sono molto più deboli di quelle del corpo solare, e che perciò producono le *linee scure di assorbimento.*

Questo processo dell'inversione, che ci è d'uopo a cagione della sua fondamentale importanza conoscere bene addentro, e che produce nello spettro del Sole e delle altre stelle fisse le linee chiamate di Fraunhofer, ci si presenta sotto il medesimo aspetto in tutti i campi della natura. Vedremo più tardi, che fra i corpi celesti esistono relazioni analoghe, le quali perturbano reciprocamente i loro movimenti tanto più energicamente quanto più sono simili le durate delle loro rivoluzioni. Qui si verificano esattamente gli stessi rapporti che nel microcosmo dei sistemi planetari molecolari. Quando nel nostro sistema solare hanno ad un dipresso rivoluzioni di uguale durata, essi si influenzeranno a vicenda finchè quelle siano divenute uguali, e l'uno circoli attorno all'altro come satellite. Se le durate delle rivoluzioni sono tali, che uno sia un multiplo dell'altro, il più forte dei due corpi perturba il più debole, finchè questo rapporto cessi. Le linee di separazione nell'anello di Saturno si generarono in tal guisa; esse sono linee di separazione paragonabili per la loro natura alle linee di Fraunhofer. Una tal relazione fra i multipli di un movimento, si riscontra anche nella serie dei suoni ove essa va compresa sotto il nome di armonia. Si sa che una corda immobile incomincia subito a vibrare, quando l'aria nella sua vicinanza è scossa da un suono collegato al suo, e vibra tanto più forte, quanto più il suono uguale agisce più energicamente di tutti; da ciò derivano le ottave, quindi le terze, le quarte e così via.

L'inversione dello spettro, come ben s'intende, non si verifica solamente per i corpi extra-terrestri, ma forma uno degli esperimenti più interessanti di un corso di analisi spettrale. L'esperienza mostra che le linee oscure che così si producono si trovano sempre a quel luogo medesimo, nel quale altra volta appare la linea lucida, e le nostre considerazioni ci insegnano che non potrebbe essere altrimenti. Gli spettri di emissione, cioè quelli con linee lucide, dei gas incandescenti coincidono esattamente cogli spettri di assorbimento. La legge fondamentale trovata da R. Hirchhoff nel 1859 suona letteralmente così: " Il rapporto fra l'assorbimento e l'emissione è uguale per tutti i corpi, per tutte le specie di raggi, a parità di temperatura. Ora poichè noi possiamo con facilità produrre nei nostri laboratorii gli spettri di emissione, e determinare con tutta facilità la posizione relativa delle loro linee, così noi possiamo d'altra parte identificare a mezzo della loro posizione le linee oscure degli spettri degli astri, con quelle di sostanze conosciute, e noi impariamo così che un dato astro possiede un involucro gassoso che è relativamente più freddo del nucleo rovente, e che contiene le sostanze elementari, le cui linee vengono trovate. Per tali misure delicate si sono aggiunti allo spettroscopio dei micrometri del pari precisi, coi quali si può misurare la posizione relativa delle linee, col che si viene a costituire lo spettrometro; quello rafligurato nel disegno a pagina 78 appartiene all'Osservatorio di Potsdam.

Per potersi raccapezzare nella folla di linee che producono alcuni elementi, ed una complicata miscela di gas quale è quella che esiste nel Sole, le linee di Fraunhofer vennero denominate colle lettere dell'alfabeto: si indica con A la prima linea distinta che si trova nel rosso. L'ultima linea visibile nel violetto dello spettro solare è designata con H, lo spettro ultra-violetto giunge fino alle lettere R, S ed oltre; d'altra parte Langley ed altri osservatori constatarono nello spettro ultra-rosso delle linee di assorbimento, nelle quali l'azione colorifica che qui si osserva viene assorbita. Verrebbe utile di dare a queste linee delle corrispondenti designazioni, quando a maggior esattezza non si fosse da lungo tempo preferito alle lettere la designazione colle lunghezze d'onda delle vibrazioni luminose dello spettro continuo, qui mancanti. Così la posizione di una linea non può però essere dubbia, neppure quando, come quella della linea D del sodio, che ritenuta semplice, fu da

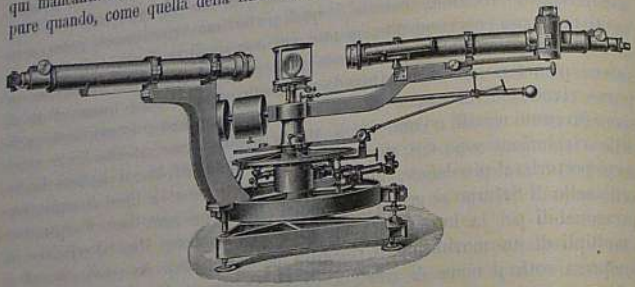


Fig. 34. — Spettrometro dell'Osservatorio astrofisico di Potsdam. Da una fotografia.

più minute ricerche mostrata doppia. La tabella a pagina seguente contiene le lunghezze d'onda ed il numero delle vibrazioni delle principali linee di Fraunhofer. Queste ultime sono date nella supposizione che la luce abbia una velocità di 297.900 km. al minuto secondo, quale la trovarono Foucault e Fizeau. Cornù trovò recentemente 300.000 km.

Vedemmo che ogni sostanza mostra sempre lo stesso spettro: ma ciò non è incondizionato. Si osserva che linee dello spettro di un gas, ordinariamente ben nette, s'allargano e vanno rigonfiando, al crescere della pressione del gas, od anche col crescere dello spessore dello strato di esso che la luce deve attraversare; da ultimo le linee si riuniscono a formare uno spettro continuo. È evidente la causa di questo fatto. Col crescer della pressione i varii sistemi molecolari vengono ad avvicinarsi fra loro, e perciò sono incagliati nei loro liberi movimenti, lo stesso avviene col crescer dello strato attraversato, le perturbazioni che ne derivano producono vibrazioni luminose che si accostano a quelle normali. Da ultimo il gas si mostra otticamente già nello stato liquido, prima ancora di averne assunto tutte le altre proprietà fisiche; si passa per uno stadio critico, nel quale certamente si trova l'interno della massima parte delle stelle fisse.

Tabella delle linee di Fraunhofer.

Designazione delle linee	Lunghezze d'onda in millionesimi di millimetro	Numero delle vibrazioni in billioni al secondo	Colore delle linee	Elemento corrispondente
A	759,360	392,3	Rosso	Ossigeno
B	686,746	433,8	Rosso	»
C	656,304	453,9	Arancio	Idrogeno
D_1	589,616	595,2	Giallo	Sodio
D_2	589,019	505,8	Giallo	»
E_1	527,050	565,2	Verde	Ferro
E_2	526,972	565,3	Verde	»
F	486,148	612,8	Azzurro verde	Idrogeno
G	430,803	693,9	Indaco	»
H	396,862	750,6	Violetto	Calcio
K	393,380	757,3	Ultravioletto	»
U	294,799	1010,5	Ultravioletto	Ferro

Quindi se lo spettro, può in date circostanze dirci qualche cosa circa la pressione di un ammasso di gas incandescente, esso ci potrà occasionalmente dire anche qualche cosa intorno alla sua temperatura. Gli spettri di alcune sostanze si modificano alquanto a temperature molto elevate, come ad esempio quello del magnesio. A mezzo delle modificazioni delle linee del magnesio, Scheiner in Potsdam ha potuto dare il limite inferiore del grado di calore al quale può trovarsi questa sostanza nell'atmosfera del nostro Sole e di certe stelle fisse: ma su ciò ritorneremo.

Ma oltre le interessanti ambasciate che la luce rifratta nel prisma apporta dal profondo dell'universo al nostro meschino angolo terrestre, essa ci dà ancora notizia di una cosa tanto importante quanto la loro costituzione fisico-chimica, notizia di cosa che certo da molti si riteneva fino alla metà del secolo presente come per sempre vietata alla conoscenza umana, non meno di quella della costituzione chimica dei corpi celesti, quella dei loro movimenti lungo la visuale.

Quando di notte tempo sopra un tratto di strada ferrata guardiamo da lontano i fanali di una locomotiva che la percorre, noi non possiamo decidere se essa stia ferma, s'avvicini o s'allontani da noi, fino a che i fanali divenendo più luminosi o meno ce ne forniscano il mezzo. Come avremmo potuto noi quindi ritenere come possibile di determinare i movimenti, che senza fallo si verificano, delle stelle che circolano sopra di noi? Giacchè l'enorme distanza ci vietava di attendere se non dopo migliaia d'anni una variazione di splendore in conseguenza di tali moti, poteva sembrare che noi dovessimo rimanere per sempre ignoranti circa i movimenti delle stelle fisse, vale a dire circa le leggi che governano l'organismo dell'universo, od almeno che di essi noi avremmo sempre solo conosciuto quella parte che ci vien palesata dagli spostamenti laterali sulla vôlta celeste, parte che evidentemente, in certe circostanze, poteva essere solo la minima del movimento reale. Rappresentiamoci ancora il caso dei fanali di una locomotiva lontana. Se noi vediamo ad esempio che essi si spostano da destra verso sinistra, noi possiamo solo dire

che il tratto di binario non corre diretto a noi, neppure (anche quando si sappia che esso è rettilineo) se esso si diriga a sinistra od a destra. La luce che devia verso sinistra ci dice solamente che il treno corre pure alla nostra sinistra, quando il treno viene alla nostra volta; nel caso contrario la linea va direttamente alla nostra destra.

Lo spettroscopio, ci mette non solamente in caso di prendere questa importante decisione circa il verso del movimento, ma misura anche in chilometri la grandezza del moto diretto verso di noi o nel senso opposto, e ciò anche quando noi ignoriamo la distanza alla quale esso avviene, come appunto è per la massima parte delle stelle fisse. Le nostre cognizioni del mondo invisibile degli atomi vibranti ci faranno capire come ciò sia possibile.

Vedemmo che i fenomeni della luce si possono chiarire con un moto ondoso, paragonabile sotto ogni aspetto a quello dell'acqua. Vediamo ancora come avvenga l'incrociamento delle onde per il nostro occhio, quando noi ci muoviamo sulla superficie dell'acqua. Proviamoci a calcolare quante onde attraversiamo navigando. È chiaro che ne incontriamo di più navigando a ritroso delle onde che non stando fermi, o camminando per il loro verso. Ma ora si tratta di determinare più esattamente come cresca il numero degli urti di onde che deve sostenere il veicolo che ci trasporta per rispetto ad un dato rapporto tra il nostro movimento di traslazione e quello delle onde, giacchè noi sappiamo che il colore che noi avvertiamo dipende dal numero degli urti delle onde luminose che percuotono la retina del nostro occhio. Dal confronto noi potremo già all'ingrosso congetturare, che un corpo che emette una data qualità di luce, dovrebbe apparirci di un altro colore se noi gli andassimo incontro, che se esso e noi stessimo fermi: la tinta si sposterebbe ognor più verso l'estremo violetto dello spettro al diminuire della distanza, verso quello rosso, per contro, al crescere di essa. In un caso incontriamo più onde, nell'altro meno, che non allo stato di riposo: ma un numero più elevato di vibrazioni corrisponde secondo la tabella precedente ad una posizione più elevata sulla scala dei colori, nel senso di un progresso verso la parte violetta.

Ammettiamo per primo e semplice caso che noi ci muoviamo attraverso alle onde colla stessa rapidità colla quale esse si muovono rispetto ad un punto fisso. Quando noi siamo andati incontro ad esse di metà via, navigando incontro al vento, noi dobbiamo aver incontrato due volte più creste di onde di quello che nello stesso tempo percuoterebbe la sponda. Se noi camminiamo con velocità doppia delle onde, ne incontriamo tre volte tanto; con una velocità tripla, quattro volte tanto e così via.

In generale pertanto vale il teorema, che il numero delle onde che s'incontra è maggiore di un'unità del rapporto delle velocità corrispondenti. Così se le due velocità stanno fra loro come $2:3$, il numero delle onde che s'incontra è $1+\frac{2}{3}$ quello che nel tempo medesimo batte alla sponda. Traducendo questo in linguaggio matematico, si ha la formola:

$$s_2 = s_1\left(1+\frac{g}{v}\right)$$

nella quale s_2 è il numero delle onde che noi incontriamo, s_1 quello delle onde che nella medesima unità di tempo (minuto secondo) batte la sponda, g la velocità della nostra nave, e finalmente v quella delle onde rispetto ad un punto fisso.

Si ammetta che nel minuto secondo battano alla riva due onde che percorrono 5 m. ogni volta in avanti, mentre noi sulla nave andiamo incontro alle onde colla velocità di 3 m.; allora $2\left(1+\frac{3}{5}\right)=\frac{16}{5}$ sarà il numero delle onde che incontriamo in un minuto secondo: cioè ne incontreremo 16 in 5 secondi, mentre in 5 secondi ne battono 10 alla sponda.

Noi possiamo anche invertire facilmente il problema, ed osservare quante onde noi attraversiamo in un minuto secondo, per dedurne poi o la velocità della nostra nave, ovvero quella delle onde, a seconda che o l'uno o l'altro ci è noto in precedenza. Supponiamo che sia conosciuta la velocità di propagazione delle onde, come appunto avviene per quelle della luce; allora la velocità della nostra nave ci è data dalla formola:

$$g = v\left(\frac{s_2}{s_1}-1\right),$$

la quale si deduce dalla precedente colle regole dell'algebra. Supponiamo che la velocità assoluta delle onde sia eguale a quella dell'esempio precedente, mentre 6 onde battono la sponda al secondo, e noi abbiamo osservato durante la nostra navigazione che incontriamo 21 onda al minuto secondo, quindi avremo da dividere 21 per 6, sottrarre 1 dal quoziente, e quindi moltiplicare per 2, velocità delle onde, ottenendo così per risultato che la nave percorre 5 m. al minuto secondo.

Non è più difficile il riconoscere il nostro movimento rispetto alla stella, o, il che in principio torna lo stesso, quello della stella rispetto a noi. Noi conosciamo già la velocità delle onde luminose, che trovammo essere per tutti i colori di 300.000 km. al minuto secondo; noi sappiamo pure determinare, come vedemmo, il numero delle onde che a noi giungono da una data sorgente di luce colorata in un minuto secondo. Resta quindi a determinare la variazione del numero delle oscillazioni, quando varia la distanza fra la sorgente di luce e l'osservatore.

Noi possiamo determinare gli spostamenti sulla scala dei colori che ne derivano, a mezzo dei punti di riferimento che ci sono forniti dalle linee di Fraunhofer. La striscia colorata continua non subirà in sé alcuna alterazione per il fatto di quello scorrimento: se la sua parte rossa primitiva si sposta verso il violetto, il rosso sarà subito sostituito da raggi infra-rossi prima invisibili, che in causa del movimento della sorgente di luce o dell'osservatore hanno acquistato una sufficiente lunghezza d'onda, per poter produrre sulla nostra retina l'impressione del rosso. Perciò all'altro estremo dello spettro, gli ultimi raggi violetti ancora visibili, si convertiranno in ultra-violetti invisibili; quindi l'aspetto e l'estensione dello spettro non muteranno a causa del movimento. Per contro entro allo spettro stesso le linee scure o chiare verranno spostate rispetto alla loro posizione primitiva, giacchè per queste linee è solo di conseguenza l'accresciuto o diminuito numero di vibrazioni. Una fiamma di sodio in moto produce quindi la sua linea D in un luogo differente da quello di una ferma, quindi anche la corrispondente linea d'assorbimento deve presentarsi in un'altra posizione. Per cui se in un apparato spettrale nel quale si veda la linea D di una stella noi produciamo col nostro istrumento un altro spettro di sodio, che rimanga immobile, e troviamo che le due linee del sodio non coincidono, allora noi conchiuderemo che la stella si muove. Misurando la differenza delle lunghezze d'onda delle due linee, noi possiamo con l'ultima formola data calcolare di quanti chilometri al minuto secondo cresca o

diminuisca la distanza della stella da noi, sebbene noi ignoriamo intieramente questa distanza.

Oggidì si può allungare, in modo non prima pensato, la fascia spettrale, si può disperdere la luce al massimo grado. Ciò si ottiene a mezzo del reticolo di Rowland, uno specchio concavo la cui superficie è ricoperta da linee finissime e vicinissime, con minutezza microscopica. Le piccolissime striscie che rimangono fra quelle linee incise producono dei fenomeni d'interferenza, che agiscono come i prismi di vetro descritti, ma in molto più larga misura. Con un cosifatto reticolo Thollon all'Osservatorio di Nizza, ha fotografato uno spettro solare con tutte le sue migliaia di linee, che solamente fino al verde inclusivo ha una lunghezza di metri 10,5: il gigantesco lavoro è giunto ora solo alla linea E. In questo spettro nei dintorni della linea D, ad una differenza di un millionesimo di millimetro nella lunghezza d'onda corrisponde sullo spettro pubblicato un tratto di non meno di 50 mm. Ora poichè ad occhio si può stimare benissimo il decimo di millimetro, così su quello spettro inusitato si legge ancora una differenza di un cinquecentesimo di micromillimetro nelle lunghezze d'onda. La nostra ultima formola ci mostra che una tale differenza nelle lunghezze d'onda corrisponde ad un movimento di un chilometro. Solo per vedere ciò non dobbiamo fermarci a considerare il numero delle vibrazioni, come facemmo fino ad ora, ma ricordare che queste stanno in ragione inversa delle lunghezze d'onda, ed introdurre queste nella nostra formola, alla frazione $\frac{w}{v}$, sostituendo quella $\frac{w_1}{w_2}$, nella quale w_1 e w_2 esprimono le relative lunghezze d'onda.

Quindi noi possiamo apprezzare il movimento di un chilometro al secondo, col metodo spettroscopico, che secondo la proposta di Cornù, vien chiamato principio di Doppler-Fizeau. Secondo le regole del nostro mondo essa è però una velocità enorme, che nessuna forza umana può imprimere ad una sorgente luminosa. Pertanto sulla Terra non siamo ancora in caso di verificare la giustezza della precedente serie di deduzioni, sebbene anche in questo rispetto l'instancabile attività dei ricercatori ci voglia lasciare sperare un qualche risultato attendibile: e già si stanno immaginando esperienze al riguardo. Per contro per i corpi celesti la velocità di 1 km. al minuto secondo è relativamente assai lenta. Ora noi, come vedremo più avanti, sappiamo trovare i moti dei corpi del nostro sistema solare con molta sicurezza, ed in essi abbiamo una eccellente occasione di controllo. La nostra Terra si muove attorno al Sole percorrendo circa 30 km. al minuto secondo. Quindi tutte le emanazioni luminose che provengono dallo spazio cosmico, nel quale si muove la nostra Terra, vengono accorciate di una quantità corrispondente. Ora, poichè l'orbita della Terra è ad un dipresso circolare, dopo un semestre il movimento avviene in direzione opposta; se allora noi ci avvicinavamo a certe stelle di 30 km., ora ce ne allontaniamo. Quindi secondo i nostri calcoli, nel corso di un semestre le linee dovranno sulla scala di Thollon spostarsi di circa 6 mm., come appunto avviene.

Il Sole ci fornisce un mezzo di dimostrazione ancora più convincente. Dall'osservazione delle macchie solari si dedusse che il Sole, al pari della Terra, ruota attorno al suo asse, in modo che un punto dell'equatore solare percorre in un minuto secondo un arco di cerchio di 2 km. Ora per un lembo del Sole questo movimento si fa allontanandolo da noi, per l'altro avvicinandolo. Quindi se si dirige uno spettroscopio a ciascuno di questi due lembi, e si fanno cadere i due spettri l'uno vicino all'altro, le linee di Fraunhofer devono manifestamente apparire fra

loro spostate di 0,4 mm., sulla scala di Thollon, alla scala adottata. Questo spostamento nella detta disposizione è molto sorprendente, ma svanisce non appena si giri l'istrumento di 90° gradi; così si guardano i due poli del Sole, dove non avviene alcun movimento dell'asse. Questo bell'esperimento fu per la prima volta eseguito praticamente da Vogel in Potsdam.

È appena necessario il dire che in relazione a questo particolare compito dello spettroscopio, di determinare i movimenti dei corpi celesti lungo la visuale, si apportarono a questo apparecchio delle speciali modificazioni. Così Zöllner ha costruito il suo famoso " Spettroscopio ad inversione „, con due sistemi di prismi, dei quali l'uno rifrange i colori nella direzione opposta a quella dell'altro. Così si hanno due spettri sovrapposti uno dei quali ha l'estremo rosso sotto quello violetto dell'altro: in essi lo spostamento delle linee succede in senso opposto, in conseguenza del che l'effetto ne è duplicato. Per la ricerca i colori dello spettro non hanno di per sè alcun valore, ne hanno solo le linee che vi appaiono. Anche la fotografia quindi può essere chiamata in aiuto dello spettroscopio, ed allora si ottiene anche una buona porzione dello spettro invisibile, che appare solamente sulla lastra fotografica. In questo ramo della spettrografia si sono specialmente distinti Vogel e Scheiner in Potsdam, e delle loro ricerche noi ci gioveremo assai e spesso discorrendo dei fenomeni celesti. La figura 35 rappresenta lo spettrografo col quale si ottennero questi risultati.

Avremo in seguito occasione frequente di esporre come l'applicazione del principio di Doppler-Fizeau, sia stata grandemente proficua alle ricerche di ogni genere intorno alle stelle fisse, e come abbia potuto fornire le più interessanti contribuzioni all'astronomia dell'invisibile. Così tralascieremo qui di accennare a varie connessioni della spettroscopia con altri metodi di ricerca, per ricapitolare rapidamente quanto ci rivela l'analisi dei colori della luce sopra i corpi dai quali emana.

Se la striscia colorata non è interrotta, uno spettro continuo, essa ci mostra che il corpo è al bianco incandescente, in stato o solido o liquido. In alcuni casi potrebbe anche essere una massa di gas fortemente compressa. In queste circostanze nulla si può conoscere circa la composizione chimica del corpo. Se lo spettro consta solo di singole linee chiare, uno spettro di emissione, allora abbiamo a che fare con una massa di gas rovente. La indecisione, come la generale distensione, di queste linee significa una altissima pressione del gas. In taluni casi l'aspetto di certe linee consente una conclusione circa la temperatura del corpo. Se invece lo spettro è continuo, solo interrotto qua e là da linee oscure, o da lunghe fascie oscure, *bande*, è cioè uno spettro d'assorbimento, vuol dire che la luce d'ogni maniera che è emessa da un corpo irradiante, prima di giungere a noi, attraversa delle masse gassose che sono meno calde del corpo irradiante e che talvolta possono essere tanto fredde quanto la nostra atmosfera. La composizione chimica di questi gas è rivelata dalle linee oscure di Fraunhofer.

Se un corpo mostra un noto sistema di linee, ma spostate rispetto alla loro posizione normale, allora si sa che varia la distanza del corpo irradiante da noi. Il numero di chilometri del quale cresce o diminuisce tale distanza, in una data unità di tempo, si legge direttamente nella grandezza dello spostamento delle linee.

Dopo aver acquistato tutte queste cognizioni sulle proprietà della luce, che è il solo intermediario fra noi ed i mondi esteriori al nostro, armiamoci del tele-

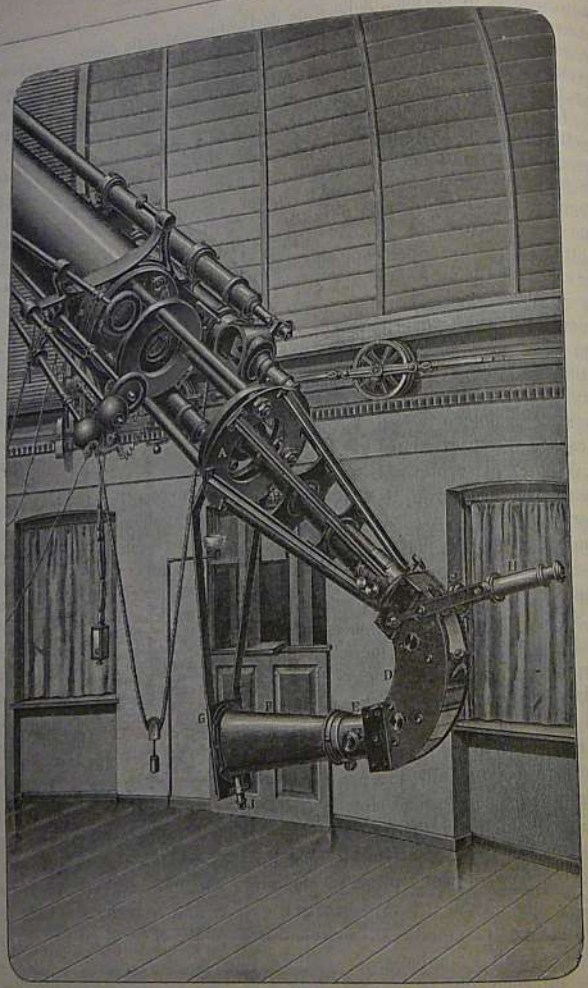


Fig. 35. — Spettrografo dell'Osservatorio astrofisico di Potsdam.

scopio, della macchina fotografica, dello spettroscopio, e di alcuni altri strumenti, e cerchiamo di decifrare le comunicazioni che ci portano dall'universo le vibrazioni degli atomi.

I.

DESCRIZIONE DEI CORPI CELESTI

SGUARDO GENERALE

La pienezza della luce che ci avvolge durante il giorno proviene solamente da quell'unica straordinaria sorgente di luce che è il Sole, la quale attraversa l'involucro aeriforme della Terra con tanti raggi, che quelli degli altri corpi celesti vi si perdono. Ovunque si diriga lo spettroscopio durante il giorno, sia verso il cielo sereno o nuvoloso che verso qualsiasi superficie bianca, colpita dalla luce diretta del Sole od anche solo illuminato dalla luce diffusa del giorno, sempre si mostra lo spettro medesimo, le medesime linee di Fraunhofer possedute dal Sole. Tutte le onde luminose, che mormorano attorno a noi durante il giorno, ripetono la loro origine dalla grande sorgente di tutti i movimenti, di ogni azione della nostra esistenza.

Solo quando l'astro del giorno declina verso l'orizzonte, e nel crepuscolo che va gradatamente facendosi cupo, i suoi raggi percorrono tutta la scala dei colori della luce decomposta dal prisma, dall'azzurro chiaro del cielo diurno fino al rosso di sangue del giorno che muore, allora dopo quella così brillante emerge una luce celeste che ci narra di quegli altri mondi lontani che ne circondano. Dapprima si mostra la Luna nella sua forma variabile. Il suo aspetto, come quello del Sole, immediatamente ne avvisa che qui abbiamo da fare con un astro che almeno per noi, occupa una posizione speciale fra tutti gli altri. Poi col progredire dell'oscurità si rinforzano i raggi di alcuni punti lucenti, dai quali si diparte una luce particolarmente tranquilla: di rado si vedono in cielo contemporaneamente più di due di tali punti. Furono denominati pianeti, stelle erranti, giacchè essi si distinguono dalle altre stelle per movimenti speciali, mentre mantengono invariata la loro relativa posizione, per quanto almeno lo può constatare nel corso di un anno un attento osservatore del cielo. Miriadi di queste stelle fisse luccicano a notte fitta sul fondo nero del firmamento. Lo spettacolo del cielo stellato è così attraente, che dalla più remota antichità si manifestò il desiderio, mai soddisfatto di contare le stelle, mentre in realtà, ad occhio nudo, se ne possono scorgere solo poche migliaia. Finalmente, quando la Luna, seguendo l'astro del giorno, s'affonda sotto l'orizzonte, e quando le più remote profondità della vôlta celeste ne mandano la loro luce attraverso alla quieta notte, biancheggia la via lattea, cintura misteriosa

che per noi circonda l'universo. Con ciò è esaurito lo sguardo al cielo quotidiano; di così pochi elementi è composta la più deliziosa sinfonia di sensazioni che la natura abbia mai composto.

Solo di rado lo spettacolo del cielo notturno è interrotto da apparizioni straordinarie. Le stelle cadenti, che talvolta scoppiano attraverso alle inalterabili costellazioni, da lungo tempo furono considerate come non aventi la loro origine in quella sfera, e benchè la moderna filosofia affermi ciò, tuttavia è quel processo stesso che così d'un tratto interrompendo il nostro concetto dell'eternità e di perpetua durata che è da porsi nel nostro mondo ristretto, e secondo il quale i secondi creano e seppelliscono millioni di mondi. Così le meteore possono perturbare le nostre sensazioni, mentre col fragore del tuono attraversano l'aria, e cadono a terra quali pietre ardenti o pezzi di roccia. Ma una stella colla coda desta un rumore che dura a lungo, potendo essa in pochi giorni crescere fino ad una grandezza che supera quella di tutti gli altri corpi celesti e distendere per quasi la metà della vôlta celeste il velo trasparente della sua coda. Il suo apparire improviso, il suo inquieto ed apparentemente irregolare vagare fra le pietre miliari del cielo, il suo svanire del pari misterioso, dopo essersi mostrata in tanto splendore, tutto ciò poteva ben spaventare l'umanità ignorante della natura di tali effimere manifestazioni celesti.

Ben altrimenti si spaventavano gli uomini, quando uno dei due maggiori luminari si oscurava, benchè ciò fosse sempre per breve tempo. Da tali occasioni, la persuasione dell'eternità e dell'immutabilità dei cieli ricevette le più fiere scosse. A questi avvenimenti celesti passeggieri, aggiungiamo ancora il risplendere subitaneo di una *stella nuova*, che viene ad alterare la vecchissima configurazione di una costellazione, il che però è una delle apparizioni più rare della vôlta celeste, ed avremo enumerato tutte le specie di fenomeni che il lontano universo potè nelle migliaia d'anni presentare allo sguardo non troppo acuto dell'uomo, che pieno di speranza e di curiosità investiga il cielo.

Anche i potenti mezzi ed apparecchi che l'astronomo chiamò in suo aiuto, e che fecero discernere una quantità inesauribile di dettagli interessanti sui corpi celesti, valsero appena ad aggiungere nuovi fatti a quelli menzionati. Il cannocchiale e lo spettroscopio attestano primamente che alla Luna ed ai pianeti spetta, fra gli altri astri, un posto speciale, giacchè furono riconosciuti quali corpi oscuri di per sè, i quali rilucono assai imperfettamente solo in virtù di luce presa ad imprestito dal Sole. Inoltre col telescopio si vedono in forma di disco, ciò che non avviene per le stelle fisse. Da ciò noi possiamo arguire che i pianeti sono a noi molto più vicini di quei soli simili al nostro, risplendenti di per sè, che riempiono lo spazio circostante fino a distanze così grandi che anche i più potenti ingrandimenti non riescono ad allargare sopra un solo degli elementi della nostra retina. La Luna ed i pianeti mostrano perciò maggiori dettagli, che possono nel cannocchiale sottostare a studio più addentrato. Alcuni di questi pianeti sono circondati da lune; Saturno possiede un anello.

Sebbene il nostro Sole sia manifestamente molto più prossimo a noi delle stelle fisse, e sebbene anche la sua superficie ci mostri un gran numero di particolarità, tuttavia tutte le altre proprietà della sua luce sono così affini a quelle delle stelle fisse che noi siamo costretti a classificare il nostro Sole onnipotente fra quei

milioni di luci celesti che l'acuto nostro occhio scorge ovunque si rivolga nel firmamento. Queste proprietà comuni sono la luce propria del Sole e delle stelle, il loro stato incandescente, e le atmosfere di gas roventi, che a quanto ci attesta lo spettroscopio, circondano tutti questi corpi. Questo mondo delle stelle fisse ci presenta la più grande varietà. Il velo vaporoso della via lattea si è risolto in milioni di stelle separate, e vi si mostrano migliaia di altre nebulose di aspetto diverso, delle quali alcune nello spettroscopio rivelano che anch'esse si scinderebbero in stelle separate, se noi potessimo rivolgere ad esse dei telescopi più potenti di quelli dei quali disponiamo oggidì, giacchè esse mostrano lo stesso spettro di assorbimento delle stelle che stanno separate, e perciò esse sono dette *ammassi stellari:* le altre nebulose invece manifestano il loro carattere completamente diverso, e la loro natura di masse di gas roventi senza nucleo solido o liquido, a mezzo del loro spettro di emissione consistente in alcune linee lucide. Se noi guardiamo ancora più lungi nel mondo delle stelle fisse, noi osserviamo che qui si ripete il fenomeno dei compagni, come avviene delle lune coi pianeti; solamente i compagni delle stelle fisse sono ancora stelle fisse, luminose di per sè, ed assieme costituiscono le stelle doppie. Finalmente noi c'imbattiamo in quelle che sono chiamate stelle variabili, le quali non costituiscono una nuova categoria inquantochè secondo le differenti cagioni delle loro variabilità di splendore esse sono o affini alle stelle nuove, o ripetono lo stesso fenomeno, che noi conosciamo nel sistema planetario come un'eclisse di Sole.

Così abbiamo enumerato tutte le classi di corpi celesti che ci sono note. Ed ora nello stabilire quale ordine dobbiamo tenere nello studiarli e nell'osservarli, faremo bene a cominciare dai corpi celesti più vicini, cioè dalla Luna e dai pianeti, passando pei quali il primo e più difficile passo dalla Terra ferma allo spazio libero, sarà di molto facilitato. A questi corpi celesti permanenti terranno dietro quelli effimeri, le stelle cadenti, le meteore, le comete, per lanciarci per ultimo nel remoto mondo delle stelle fisse, dopo aver studiato quel loro rappresentante per noi eccellente fra tutti che si è il Sole.

Per seguire quest'ordine della materia, noi dobbiamo accontentarci della pura probabilità che abbiamo addotto circa le distanze relative degli astri. I metodi esatti che ci forniscono la conoscenza di queste distanze saranno svolti nella seconda parte di quest'Opera, che si occuperà dei movimenti degli astri e degli altri problemi dell'astronomia di misura.

A. IL MONDO DEL SOLE

1. La Luna.

L'umanità considera la Luna come cosa veramente sua. Il suo tranquillo lume rischiara i paesaggi terrestri di un mite e pallido albore, che dopo la penetrante luce del giorno rende l'occhio e l'animo più aperti alle delicate ed intime sensazioni che la luce del giorno attutisce. E noi possiamo guardare la Luna in viso,

che sorride amichevolmente a noi quaggiù, come un silenzioso confidente. La Luna appartiene intimamente alla nostra vita terrestre, è come parte di noi stessi.

Malgrado ciò, ben presto l'umanità fu convinta che la Luna è discretamente lontana da noi, e che ad ogni modo sta fuori del nostro guscio aereo, all'infuori dell'azione di ogni potenza umana. D'altronde ciò poteva leggersi direttamente in cielo, osservando che essa sta sempre dietro le nuvole, mai davanti. Basti a noi qui il menzionare che questo astro dista da noi di circa 385.000 km., cioè circa da 9 a 10 volte la lunghezza della circonferenza terrestre. Vi sono molti marinai che nella loro vita hanno percorso un cammino più lungo, ed i grandi vapori postali percorrono assieme in un anno sulla nostra superficie terrestre una distanza che è 12 o 14 volte quella fra la Terra e la Luna. L'uomo avrebbe certo trovato mezzo di andare nella Luna, se la mancanza d'aria nelle più eccelse regioni della nostra atmosfera non vi ponesse un ostacolo insormontabile.

La prima constatazione, che ci può condurre a conclusioni circa la natura della Luna è il suo regolare mutare di luce. Solamente durante un tempo relativamente breve noi la vediamo in forma di disco completo, di luna piena. Essa è allora quasi sempre diametralmente opposta al Sole, così che i due astri non possono mai essere visti contemporaneamente; ciò però con una certa limitazione che dipende dalla rifrazione della luce nella nostra atmosfera, e che rende possibile in date occasioni il vedere contemporaneamente i due astri sull'orizzonte. Qualche giorno dopo la luna piena si nota che una parte del lembo del disco si è appiattito, e che qui il contorno appartiene ad un cerchio più grande che non l'altro, quest'ultimo è sempre rivolto al Sole. Contemporaneamente avvertiamo che si è spostata sulla vôlta celeste facendosi più dappresso al Sole. Ora può essere vista contemporaneamente ad esso specialmente nelle ore del mattino. Coll'avvicinarsi al Sole si distende sempre la linea del contorno della Luna apposta ad esso, e diviene una linea retta, nel tempo medesimo in cui la Luna tocca la distanza di 90′ in arco dal Sole, e quindi al levare del Sole circa si trova a sud. Dopo si ha l'*ultimo* quarto. A partire d'allora la linea di contorno, il *terminatore*, si incurva ognor più verso l'interno, finchè rimane solo una falce sottile, la quale finalmente scompare nei raggi del Sole, al quale la Luna si è sempre ancora avvicinata: essa è divenuta *luna nuova*. Dopo qualche giorno la falce riappare poco dopo il tramonto del Sole, ma questa volta dall'altra parte dell'astro del giorno, e incurvata al rovescio della luna crescente. Il terminatore si distende di nuovo, finchè avviene il primo quarto, al tramonto del Sole; la Luna sta ora al punto più elevato, e finalmente cresce di nuovo fino a luna piena. Così si ripete la vicenda delle fasi lunari ogni volta nel corso di un mese sinodico, intervallo compreso fra due ritorni successivi della Luna al Sole, che è lungo 29 giorni, 12 ore, 44 minuti e 2,9 secondi, numero che da migliaia d'anni si cercò di determinare quanto più si potè esattamente, in causa delle pratiche religiose che da tempi remotissimi si connettono coi cambiamenti della Luna, e che si conosce da lungo tempo con sufficiente accuratezza. La posizione della falce quale noi la vediamo, si verifica però soltanto per l'emisfero terrestre nord. Sotto l'equatore, il primo quarto sembra un battello galleggiante sull'orizzonte, sull'emisfero meridionale l'orlo intieramente illuminato dal primo quarto sta a destra del terminatore, la Luna appare quindi come all'ultimo quarto da noi; e corrispondentemente si cambia anche la posizione per le altre fasi. Nella seconda

sezione di questo Trattato daremo la spiegazione di questi variabili rapporti di posizione.

Molto raramente avviene, malgrado la vivace attenzione che sempre si attirò la Luna, ed in realtà avvenne molto tardi, e probabilmente pel primo fu notato da Leonardo da Vinci, che si osservi che il corpo di quest'astro non scompare intieramente nelle sue variazioni di luce, non perchè, come quasi unanimemente si ammette dai popoli ancora barbari o semibarbari, non tutto si consumi, ma perchè alla luna nuova vicino alla sottile falce debolmente illuminata si scorge il rimanente del disco, colorato da una scialba luce grigio cenere. Di questo fenomeno diremo diffusamente in appresso. Con ciò tutto il succedersi delle fasi vien caratterizzato come un mutamento d'illuminazione di un corpo opaco di per sè. Noi possiamo riprodurre tutte le corrispondenti apparenze nel loro naturale succedersi, facendo girare attorno a noi una sfera bianca, illuminata da una sorgente luminosa assai lontana, come appare dalla figura. Anche qui la parte della sfera non illuminata direttamente rimane visibile a causa della luce diffusa nella camera.

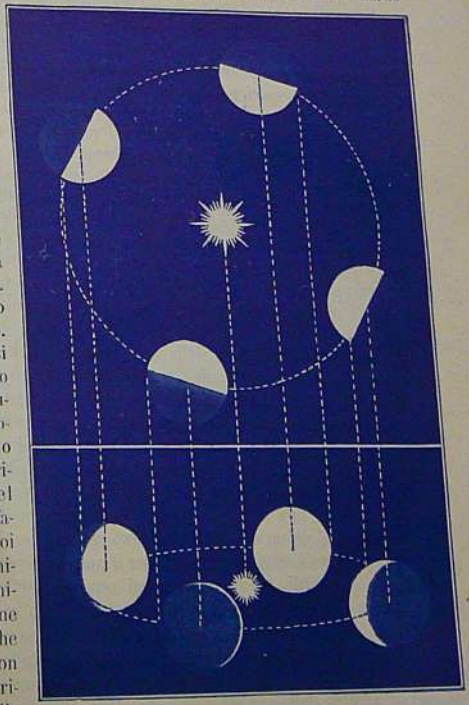


Fig. 36. — Causa delle fasi della Luna.

Per la Luna è il riflesso della Terra rischiarata in pieno dal Sole, che giunge fino alla Luna, e che ne illumina ancora la parte oscura. Pertanto, benchè l'apparenza ci mostri la Luna come conformata più evidentemente di tutti i corpi celesti come un disco piatto, noi dobbiamo ritenerla come una sfera liberamente librata nello spazio, oscura di per sè ed illuminata al pari della Terra dal Sole.

Ciò è anche assodato, come già dicemmo, dallo spettroscopio, il quale rivolto alla Luna, mostra esattamente lo stesso sistema di linee di un pezzo di carta bianca irradiante la luce del giorno. Scheiner in Potsdam fotografò lo spettro lunare, e ne trovò le 300 (circa) linee, coincidenti esattamente con quelle dello spettro solare.

In nessun altro corpo celeste la coincidenza è così completa; anche coi pianeti, come vedremo, si riscontrano alcune linee nuove, od altre si allargano, dal che si deve conchiudere che la luce solare dopo essere stata riflessa dalla loro superficie, deve ancora attraversare degli strati gasosi, le loro atmosfere.

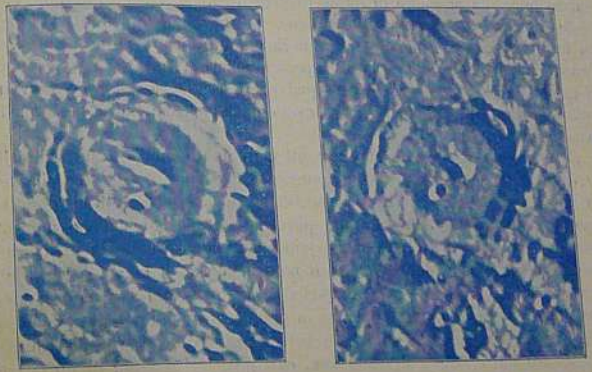
Lo spettroscopio ci rivela ancora il naturalissimo fatto, che la Luna non è, come la Terra, dotata di un involucro aeriforme. Naturalmente l'influenza della nostra atmosfera deve essere convenientemente dedotta. Quest'assenza dell'aria nella Luna era già divenuta probabile prima per osservazioni di altra natura. Il suo aspetto sorprendente di disco, ci può fornire di ciò un'attestazione convincente, giacchè a noi giungono tanti raggi dal lembo della Luna, quanti dal suo mezzo, il che evidentemente non potrebbe accadere, quando i raggi solari, dovessero come sulla Terra, dapprima attraversare degli strati aeriformi. La luce è d'assai indebolita nel più lungo tratto che i raggi percorrono venendo dall'orizzonte, rispetto a quello percorso quando vengono dallo Zenit. Pertanto se attorno alla Luna vi fosse alcun che capace di trattenere la luce, la luminosità della Luna piena dovrebbe sensibilmente diminuire verso l'orlo per il quale il Sole è all'orizzonte, e conservare perciò più evidente l'aspetto di una sfera. Noi possiamo fare facilmente questa convincente prova, avvolgendo una sfera con un velo di garza oscura, che è un mezzo che assorbe la luce; la sfera ci apparirà allora molto più fortemente ombreggiata ai lembi che non prima.

Si deduce un'altra prova dalla nota proprietà della luce, di venir deviata dal suo cammino rettilineo, quando essa deve attraversare alcune sostanze dense. Noi sappiamo che in ciò si toccano le azioni del telescopio e dello spettroscopio. La luce entrando nell'atmosfera dei corpi celesti, deve venire rifratta, ciò che noi possiamo ben chiaramente constatare sulla Terra: tutti i raggi luminosi che ci pervengono dallo spazio celeste descrivono nella nostra atmosfera un arco notevole; in causa di ciò noi scorgiamo, per questa che è chiamata *rifrazione atmosferica*, i corpi celesti in una posizione diversa dalla reale nella quale ci apparirebbero se noi fossimo al disopra di quell'involucro gasoso che è l'aria, piuttosto incomodo per parecchi rispetti scientifici. Quindi per il nostro occhio il Sole si leva più presto e tramonta più tardi, poichè i suoi raggi vengono dall'aria incurvati per un buon pezzo, attorno alla Terra, così che il Sole è in realtà già tramontato quando per noi il suo lembo inferiore tocca appena l'orizzonte, e quindi tutto il suo disco è ancora visibile. Lo stesso noi dovremmo constatare per la Luna. Questo avviene molto spesso per le stelle, la cui luce, prima di venire intercettata dalla Luna dovrebbe al suo orlo essere dalla sua atmosfera, che deve attraversare, incurvata per un lungo tratto. Dovrebbe quindi; la luce stellare prima venire altresì indebolita; poi il suo sparire dietro la Luna dovrebbe essere ritardato, ed il suo riapparire accelerato analogamente a quanto si osserva sul nostro orizzonte terrestre per il Sole e tutti gli altri astri. Ma ciò non avviene, lo attestano le più accurate e delicate misure istituite a quello scopo.

Con tutte queste prove però l'assenza di aria o di altro involucro gasoso dalla Luna, non è per nulla dimostrato; esse ci consentono solo di affermare, che la quantità di gas che vi esiste, è così tenue che noi non possiamo rintracciarla. Secondo Neison, astronomo inglese, che si è molto occupato della Luna, un'atmosfera lunare che esercitasse la trentesima parte della nostra pressione atmosferica

dominante, sarebbe possibile; un'atmosfera più densa avrebbe dovuto rivelarsi. Pickering, all'Osservatorio di Arequipa situato sull'altipiano peruviano, in occasione che il 12 agosto 1892 la Luna coprì Giove, istituì un'osservazione che permise di concludere una rifrazione sull'orlo della Luna. Il disco di quel pianeta apparve compresso di circa un secondo d'arco, il che secondo quell'astronomo dovrebbe corrispondere ad un'atmosfera da $^1/_{4000}$ ad $^1/_{8000}$ della nostra.

Come già avvertimmo, la luce viene riflessa dalla Luna come da un pezzo di carta bianca: ma ciò si riferisce solamente all'apparenza nello spettroscopio. La luce che ci è rinviata è in quantità molto minore, che se la Luna consistesse in una intiera massa bianca. Come è noto gli stessi oggetti bianchi, al pari degli specchi,



Figg. 37 e 38. — Il cratere lunare Arzachel: 1) il 15 agosto 1888; 2) il 27 agosto 1888. Da una negativa originale dell'Osservatorio Lick, ritoccata ed ingrandita 10 volte da L. Weinek in Praga.

s'impossessano sempre di un poco di luce. Secondo le accurate misure di Zöllner la Luna irradia 619000 volte meno luce che il Sole, vale a dire da essa a noi giunge un tal numero di molecole eteree vibranti meno di quelle che il Sole invia sopra la Terra, a parità di superficie. Pertanto una lastra fotografica che riproducesse la Luna tanto rapidamente quanto il Sole, deve quindi avere un'esposizione 619000 volte più lunga. Zöllner stabilì inoltre, che una azione riflettente corrispondente a questa intensità di luce (detta *albedo* della Luna) sarebbe necessaria, se la materia formante la superficie lunare possedesse il colore della nostra marna argillosa.

Il telescopio, che sminuzza e riduce a parti le impressioni d'insieme fin'ora da noi raccolte sulla Luna, ci mostra fin dal primo sguardo, come d'altronde anche l'occhio nudo, che la Luna non consta di materia regolarmente distribuita, ma che su di essa si avvicendano in distribuzione varia le parti chiare e le oscure. Noi distinguiamo chiaramente grandi regioni, tondeggianti, oscure, che sono circondate da quelle chiare. Quelle furono chiamate i mari della Luna, ed in principio, dopo la

loro scoperta fatta da Galileo nel 1610, la prima volta che rivolse al cielo il cannocchiale, vennero rignardati come reali mari ondeggianti, circondati da coste rocciose, di roccie più chiare. Il nome fu conservato, benchè più tardi si sia riconosciuto l'insussistenza di quella opinione. Sulla carta lunare di Lohrmann, da noi riprodotta, queste *pianure mari* sono indicate coi loro nomi. Esse occupano segnatamente le parti inferiori della carta del disco lunare, che in realtà è parte rivolta verso l'alto, poichè in tutti i disegni della nostra Opera noi riproduciamo gli oggetti celesti quali appaiono alla visione diretta in un cannocchiale astronomico, che capovolge gli oggetti. Conseguentemente, in quanto segue, noi chiameremo sempre meridionale la parte superiore dei corpi celesti, e nordica quella inferiore. La metà settentrionale della Luna è più ricca di mari della meridionale, che irradia più chiaro lume. La maggiore di queste regioni oscure è il mare Imbrium, che possiede sulla superficie lunare un'estensione che supera quella dell'Austria-Ungheria. Di fronte a tali dimensioni, si troverà facilmente il rapporto coi nostri mari, segnatamente quando si consideri che la superficie lunare è circa 13 $\frac{1}{2}$ volte più piccola di quella della Terra, così che per quel corpo celeste le *pianure mari* in rapporto alla sua intiera superficie occupano un'estensione che è circa quella del mare Mediterraneo.

Si comprende facilmente che per ottenere questi numeri, che qui debbono servire a dare idee generali, basta conoscere la distanza della Luna che demmo più avanti, quando si rifletta alla necessità geometrica che tutti gli oggetti debbono al nostro occhio sembrare più piccoli, nel rapporto con cui aumenta la nostra distanza da essi. Noi possiamo quindi determinare anche la grandezza della Luna, allontanando da noi un disco di noto diametro di tanto da coprirla esattamente. Quante volte maggiore di quella del disco da noi sarà la distanza della Luna, di altrettanto la Luna supererà in grandezza quel disco. Su tale principio fondamentale, sebbene reso più esatto nell'esecuzione, è basata la determinazione del diametro lunare che è di 3500 km., cioè qualche cosa più di un quarto di quello della Terra. Le regioni chiare e le scure non cambiano la loro posizione relativa, esse sono configurazioni costanti della superficie. Anche di poco cambia il loro complesso di posizione rispetto all'orlo apparente della Luna. La Luna rivolge a noi costantemente la stessa parte, così che noi scorgiamo all'incirca solamente la metà di tutta la sua superficie; dell'altra, che essa costantemente tiene rivolta verso lo spazio dalla parte opposta a noi, nulla mai abbiamo veduto. A tutto rigore però la Luna non mantiene invariabile la sua posizione rispetto alla retta di congiunzione colla Terra, ma oscilla alquanto in qua ed in là attorno alla posizione media. Questo oscillare è detto: *Libbrazione*. In causa di essa noi possiamo poco alla volta vedere i $^4/_7$ dell'intiera superficie.

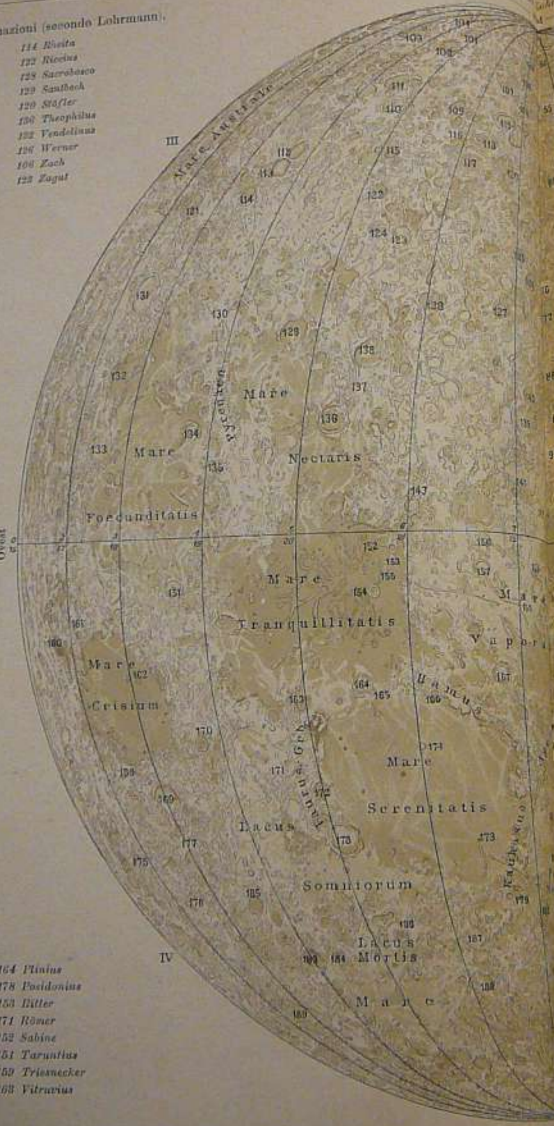
Oltre a quelle configurazioni ombreggiate delle pianure ne incontriamo sulla Luna delle altre, che mutano colle sue fasi e spariscono completamente a Luna piena. Un semplice sguardo lascia supporre che ci stiano innanzi ombre gettate da disuguaglianze della superficie lunare. Per averne la prova basta tener dietro alle mutazioni di queste ombre, in tutte le *età della Luna*, vale a dire a tutte le distanze in tempo dalla Luna piena. La figura 36 riproduce la stessa configurazione lunare a diverse età. Noi vediamo da questa come l'aspetto cambi essenzialmente sotto diversa illuminazione, e constatiamo nelle piccole variazioni

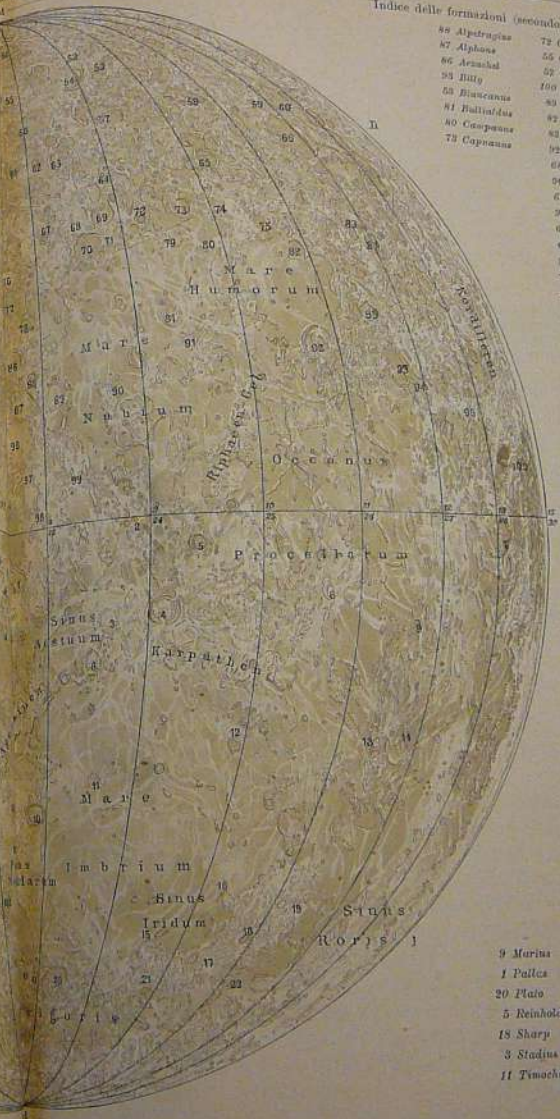
Indice delle formazioni (secondo Lohrmann).

139 Albategnius
125 Aliacensis
127 Apianus
109 Baco
116 Barocius
104 Boguslawsky
103 Boussingault
138 Catharina
118 Clairaut
105 Curtius
119 Cuvier
137 Cyrillus
143 Delambre
112 Fabricius
130 Fracastor
121 Furnerius
134 Goclenius
135 Guttemberg
141 Hipparchus
111 Hommel
107 Jacobi
133 Langrenus
108 Lilius
124 Lindenau
101 Manzinus
117 Maurolycus
113 Metius
102 Mutus
115 Nicolai
140 Parrot
131 Petavius
110 Pitiscus
142 Reaumur
114 Rheita
122 Riccius
128 Sacrobosco
129 Santbech
120 Stöfler
136 Theophilus
132 Vendelinus
126 Werner
106 Zach
123 Zagut

---

165 Acherusia Cap
157 Agrippa
154 Arago
155 Ariadaeus
180 Aristillus
188 Aristoteles
183 Atlas
181 Autolycus
161 Azout
174 Bessel
186 Bürg
179 Calippus
182 Cassini
169 Cleomedes
160 Condorcet
168 Eimmart
189 Endymion
187 Eudoxus
185 Franklin
175 Gauß
177 Geminus
156 Godin
184 Hercules
158 Hyginus
172 Le Monnier
173 Linné
170 Macrobius
167 Manilius
166 Menelaus
176 Messala
162 Picard
164 Plinius
178 Posidonius
153 Ritter
171 Römer
152 Sabine
151 Taruntius
159 Triesnecker
163 Vitruvius





phische Anstalt in Leipzig.

di forma l'influenza della librazione. Rimane però fissa la regola che le ombre cadono sempre verso quell'orlo che viene alterato dalla fase, verso il terminatore, mai verso l'altro orlo che durante la vicenda delle fasi si conserva circolare. Teniamo presente che quest'ultimo orlo è sempre rivolto verso il Sole, così, ammettendo che sia il Sole che produce queste ombre, s'intende che esse cadano da quella parte nella quale la superficie lunare comincia ad immergersi nell'oscurità notturna, giacchè ciò avviene manifestamente al di là del terminatore. Esso non è altro che il limite fra il giorno e la notte sulla Luna, ed indica i luoghi di questa, sui quali il Sole o si leva o tramonta, secondo che la Luna cresce o cala. Se quelle ombre sono realmente prodotte da sollevamenti permanenti della superficie lunare, esse devono, come le ombre dei monti sulla Terra, accorciarsi costantemente dal mattino sino a mezzodì, e quindi di nuovo allungarsi fino alla sera; ed è ciò appunto che si constata avvenire. Calcolando, a mezzo della lunghezza dell'ombra, l'altezza del monte che la getta, noi dobbiamo naturalmente, malgrado la differenza delle posizioni, trovare sempre lo stesso valore, ed anche ciò si verifica infatti.

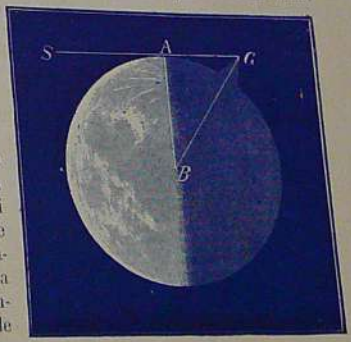


Fig. 39. — Determinazione dell'altezza delle montagne lunari.

Questa misura della altezza delle montagne lunari può eseguirsi con grande sicurezza dal nostro punto di stazione terrestre, ed in molti casi anche senza alcuna supposizione sulle relazioni e le distanze fra il Sole, la Terra e la Luna, almeno finchè ci accontentiamo di conoscere l'altezza di quelle montagne in parti del diametro lunare. In un caso ciò è possibile senz'altro, quando cioè l'elevazione si trova sull'orlo lunare completamente illuminato, sul quale noi ne vediamo molto spesso. Allora basta sopra una fotografia lunare, misurare ad esempio in millimetri, quella elevazione ed il diametro dell'immagine lunare e dividere l'uno per l'altro questi due numeri. Ma anche in altri casi è possibile quella determinazione; di essi già si giovò Galileo per la determinazione dell'altezza dalle montagne lunari, e sono quelli cioè che si presentano al primo ed all'ultimo quarto, quando oltre il terminatore si presentano dei punti lucenti, quali se ne vedono in una delle nostre figure. Questi punti luminosi sono manifestamente vette di monti, i quali sono ancora colpiti dai raggi solari, sia che avvenga il levare od il tramontare del Sole. Se si misura ora la distanza di questo punto lucido, dal lembo illuminato della Luna, il quale si ritrova sulle pianure circostanti, e come scorgesi nella figura 39, questo sarà un cateto di un triangolo rettangolo di cui l'altro cateto è il raggio lunare che si deve misurare, colla stessa unità di misura, sull'immagine lunare, mentre l'ipotenusa è lo stesso raggio più l'altezza del monte cercata. In virtù del teorema di Pitagora si ha:

$$(r + h)^2 = r^2 + a^2,$$

in cui:

r, è il raggio lunare, AB della figura,

h, l'altezza cercata del monte,

a, la distanza AG.

Supponga si che sopra una fotografia lunare avente un diametro di 200 mm. si sia trovato che il punticino corrispondente alla vetta di un monte dista di 10 mm. dal lembo illuminato, cioè di una quantità che si può molto bene apprezzare e misurare; allora dalla nostra formola troviamo, che il monte deve apparire alto $^1/_2$ mm., quando si trovasse sull'orlo dell'immagine. Ciò fa esattamente un quattrocentesimo dell'intiero diametro lunare; adottando per questo il valore in chilometri dato sopra, si deduce che il monte osservato è alto 8750 m. Ammettasi che la misura della distanza del punto lucente dal terminatore fosse esatta fino a $^1/_2$ mm.; allora ripetendo il calcolo con 10,5 mm. si ricava che noi possiamo con questo metodo affatto grossolano apprezzare, col metro, sopra una fotografia l'altezza di una montagna lunare coll'approssimazione di circa 1000 m. Vedremo più tardi, che nelle misure astronomiche un errore, che nelle date circostanze ammonterebbe allo spessore di un capello, è considerato come uno sbaglio grossolano, così che nella misura delle montagne lunari si può garantire una sicurezza cento volte maggiore. Con certe restrizioni, delle quali pure discorreremo, noi conosciamo adunque quell'altezza coll'approssimazione di 10 m., vale a dire altrettanto esattamente, quanto quella colla quale sappiamo determinare l'elevazione delle montagne terrestri; mentre molte montagne terrestri, o difficilmente accessibili, o situate in regioni poco esplorate, non sono misurate che con molto minore sicurezza.

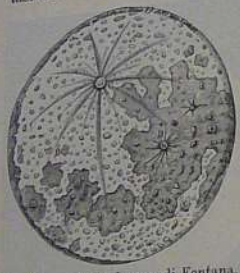


Fig. 10. — Carta lunare di Fontana, nell'anno 1630. Dall'opera di Fontana: *Novae coelestium terrestriumque rerum observationes*, Napoli 1646.

Naturalmente il metodo di misura descritta non è il solo; noi possiamo sulla Luna, come occasionalmente sulla Terra, misurare l'altezza di un monte deducendola dalla lunghezza della sua ombra, in ogni tempo, quindi non solamente quando per il luogo che si considera il Sole leva o tramonta, purchè si conosca l'altezza del Sole sull'orizzonte nell'istante in cui si eseguisca la misura. La determinazione di quest'angolo per un dato punto della Luna o di qualsiasi altro membro del nostro sistema planetario, non presenta maggior difficoltà di un eguale calcolo sulla nostra Terra.

Sulla Luna però si ha una difficoltà, che sulla Terra non s'incontra nella misura dell'altezza delle montagne, ed è l'assenza di un piano di livello generale, al quale si possano riferire le misure. Sulla Terra noi riferiamo l'altezza dei monti al livello del mare, per la Luna noi dobbiamo accontentarci di determinare l'altezza sopra un punto delle vicinanze, e generalmente dall'estremo dell'ombra sottoposta a misura nell'istante dell'osservazione. Nel paragonare le montagne terrestri colle lunari, bisogna ben badare a ciò, poichè noi otterremo altezze di montagne ben diverse, quando noi computassimo l'altezza del Monte Bianco dal piano di

Chamonix, ovvero quella del Picco di Teneriffa dal fondo del mare sul quale il suo piede posa.

Si è riconosciuto che, cosa assai curiosa, la montagna lunare più elevata è alta quanto la più eccelsa cima terrestre, circa metri 8850. Per la Terra questa quantità equivale alla 720ma parte del raggio, sulla Luna per contro alla 200ma. In rapporto alle dimensioni del corpo cosmico sul quale esse stanno, le montagne lunari sono quindi molto più elevate di quelle della Terra.

Fig. 41. — Carta lunare di Evelio, nell'anno 1645. Dalla *Selenographia* di Evelio. Danzica 1647.

Subito dopo la scoperta del cannocchiale si cominciò a disegnare una carta topografica della Luna, per potere istituire ulteriori confronti tra quel mondo ed il nostro. La prima carta lunare fu pubblicata nell'anno 1647 a Danzica dal senatore Evelio (Fig. 41), astraendo dal disegno di Fontana che abbiamo pur riprodotto, e che data dal 1630, ma che non ebbe mai la pretesa di essere ritenuto quale una carta topografica della luna. La *Selenographia* di Evelio fu per quel tempo una pubblicazione che fece epoca, ed in tutta l'estensione della parola un lavoro d'arte scientifico. Le incisioni in rame che essa contiene furono incise dall'autore stesso, abilissimo in tale lavoro, e riproducono l'aspetto della Luna in ogni giorno della

sua età, dal che viene così composta un'immagine ideale della Luna piena. Le figure 41 e 42 sono copie di quelle rafligurazioni: in quelle troviamo denominazioni di mari e montagne che hanno corso anche oggi.

Naturalmente le carte lunari dovevano perfezionarsi assieme al telescopio; nei due ultimi secoli, Cassini e Lahire in Parigi, Tobia Mayer in Gottinga e Schröter in Lilienthal, disegnarono carte lunari sempre più complete; e nel secolo presente Boer e Mädler in Berlino, Lohrmann in Dresda (abbiamo dato una piccola riproduzione della carta di Lohrman), gli inglesi Nasmith e Neison, ed in modo particolare Giulio Schmidt in Atene, fecero meglio ancora. Quest'ultimo con un lavoro incessante di quattordici anni eseguì la massima fra le carte lunari ora esistenti, che non ha meno di 2 m. di diametro, e presenta tanti dettagli superficiali, quanti ne possono mostrare i migliori atlanti della nostra Terra. Questa monumentale " Carta delle montagne della Luna „ fu pubblicata nel 1878 a spese del Ministero dell' istruzione pubblica.

Fig. 42. — Aspetto della Luna piena, secondo Evelio.
Dalla *Selenographia* di Evelio, 1647.

Frattanto la fotografia, che come sopra esaminammo in disteso, precisamente colla Luna aveva da superare difficoltà speciali, cominciò, malgrado ciò, a gareggiare coi disegnatori. Draper nel 1840 fissò sulla carta la prima immagine fotografica della Luna e fu seguito da molti altri, fra i quali giova segnalare: gli americani Bonde e Rutherfurd, quindi in tempi più vicini Prinz in Bruxelles, Pickering in Cambridge (Nord America), Hale in Chicago, ed in modo ben distinto gli astronomi dell'Osservatorio Lick, i fratelli Henry, Loewy e Puiseux in Parigi.

Ora poi si è fatto quasi un compromesso fra i disegnatori ed i fotografi. L'astronomo Weinek di Praga selenografo (che si occupa di disegnare la Luna), che si era già da prima segnalato disegnando con cura ed arte straordinarie alcune belle rappresentazioni di singole regioni lunari, cominciò a disegnare ingrandite le fotografie lunari ottenute all'Osservatorio Lick, ottenendo dei risultati notevolissimi e straordinariamente belli. Ma in ciò non si potè malgrado tutte le precauzioni scansare la difficoltà, proveniente dal modo del disegnatore di comprendere

Il Mare Crisium sulla Luna

(Secondo un rilievo fotografico eseguito dall'Osservatorio Lick).

i dettagli più delicati. Di recente perciò si sono preferiti gl'ingrandimenti fotografici che si riesce oggi ad ottenere perfettissimi. Così Prinz in Bruxelle, il barone Rothschild in Vienna e Weinek in Praga ottennero ingrandimenti di alcune parti di fotografie lunari dell'Osservatorio Lick, le quali forse un giorno saranno raccolte in un atlante lunare di proporzioni gigantesche.

Però una più rigorosa disamina ha provato, che queste fotografie, per quanto colpiscano l'occhio in uno sguardo superficiale, tuttavia mostrano molto meno particolarità che la visione diretta in un cannocchiale di media grossezza. In generale si può ammettere che le migliori fotografie offrono al più quanto l'occhio vede in un cannocchiale di 6 pollici (15,24 cm.) d'apertura. Un confronto istituito da Prinz dimostrò inoltre che i progressi della fotografia, per quanto concerne la definizione delle più minute particolarità, non sono così grandi come si era propensi a credere. I più piccoli oggetti sulla fotografia di Rutherfurd misurano sulla Luna circa 3000 m.; le più recenti dell'Osservatorio di Parigi, che superano di alquanto quelle dell'Osservatorio Lick, 2250 metri.

La ragione per cui non si è potuto andare molto avanti in questa direzione, sta nella granulazione grossolana delle nostre lastre fotografiche molto sensibili. Questa granulazione (V. pag. 44) ha grani che in queste lastre misurano 0,1 mm. ed hanno sulle odierne fotografie lunari una estensione che corrisponde ad un dettaglio di 200 m., quindi alla quinta parte della definizione ottenuta. Questo notevole peggioramento deriva anche dalla instabilità dell'immagine in causa dei movimenti dell'aria, dall'irregolarità nell'andamento col quale il cannocchiale è condotto a seguire l'astro, dalle altre sorgenti d'errore che furono enumerate nel Capitolo generale sulla fotografia. In causa delle perturbazioni causate dalla granulazione, anche cogli ingrandimenti fotografici non si ottiene molto per rispetto alla definizione, astraendo dall'enorme risparmio di tempo. Sarebbe quindi importantissimo di poter ottenere al fuoco del cannocchiale l'immagine più larga possibile. Quella prodotta dall'Osservatorio Lick misura 13,5 cm., quella generata dallo speciale e nuovo " cannocchiale a gomito „ in Parigi, 18 cm. Ora noi sappiamo che la grandezza di questa immagine focale (V. p. 24) dipende dalla distanza focale, vale a dire dalla lunghezza del cannocchiale, la quale non può più essere ulteriormente di molto accresciuta. Se s'ingrandisce l'immagine con altri mezzi, vale a dire coll'introduzione di oculari, c'imbattiamo in un corrispondente indebolimento di luce. Questa a sua volta rende necessario un allungamento della durata d'esposizione, che a sua volta aumenta l'azione delle altre cause d'errore, agitazione dell'aria e del cannocchiale e così via. Così che sembra che i progressi della *selenografia* dipendano oggi più dal perfezionamento della lastra fotografica che da quello del cannocchiale.

Giovandoci del ricco materiale che in parte ci fu fornito dalla mano dell'uomo, ed in parte dalle vibrazioni luminose, cerchiamo di conoscere il mondo della Luna. Anche uno sguardo superficiale constata il carattere montagnoso del nostro satellite, così diverso da quello da noi abitato. Tutta la metà visibile della Luna è disseminata di configurazioni tondeggianti, che solo in causa della forma sferica della Luna, si proiettano tanto più ellitticamente quanto più prossime sono all'orlo del disco apparente. Se ne trovano di tutte le dimensioni possibili, da intieri mari come il *Mare Crisium* (Vedi tavola) fino ai più insignificanti buchi

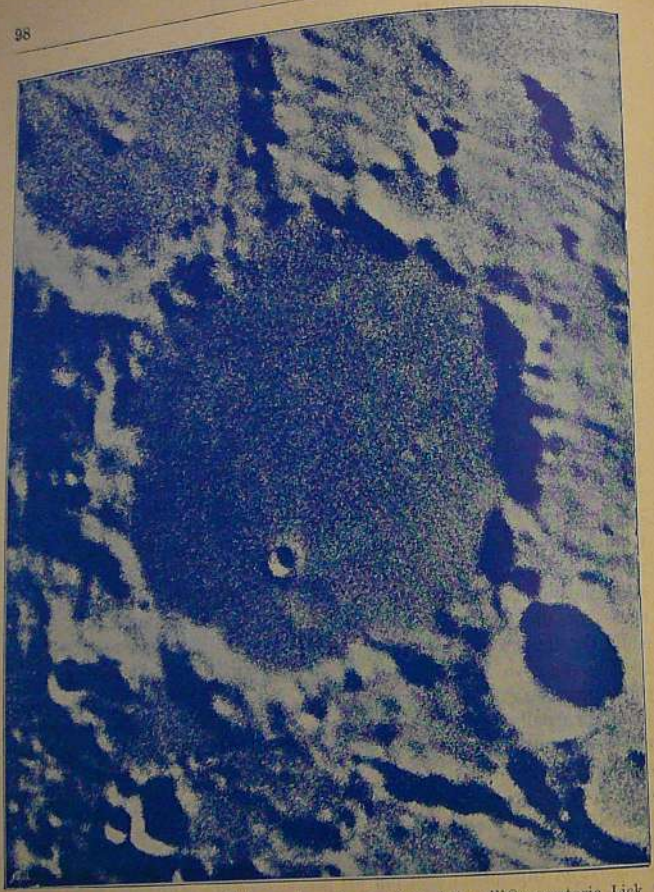


Fig. 43. — Il circo montagnoso Tolomeo. Secondo un rilievo fatto all'Osservatorio Lick il 10 novembre 1892, ingrandito 16 volte da L. Weinek in Praga.

della superficie, che si possono scoprire solo coi mezzi più penetranti e che tutto al più possono avere 200 m. di diametro. Dapprima tutte queste configurazioni rotonde furono denominate *crateri lunari*, ma si dovette più tardi considerare che le maggiori, chiamate rispettivamente *bastioni delle pianure* o *circhi di montagne*, erano così differenti da tutte le formazioni montagnose che si riscontrano sulla Terra, che bisogna formare per essi una categoria nuova di pianta.

Queste categorie, nelle quali vien classificato quello che si scopre in cielo, devono, per quanto è possibile, essere costituite con analogie terrestri. Noi ci limitiamo ora ad una mera descrizione, riserbandoci di formulare un'opinione sulla natura, l'origine e la connessione delle cose vedute, quando ci staranno innanzi dati raccolti da tutte le parti del vasto campo che dobbiamo esplorare, sufficienti ad acquistare un'influenza sul nostro modo di vedere circa un particolare soggetto. Perciò ancora, volendo addentrarci nella natura di un corpo celeste, noi non dobbiamo considerarlo come un essere isolato e indipendente, giacchè segnatamente nello spazio celeste non esiste cosa alcuna che non sia collegata con quanto la circonda, e senza questo nulla si può comprendere.

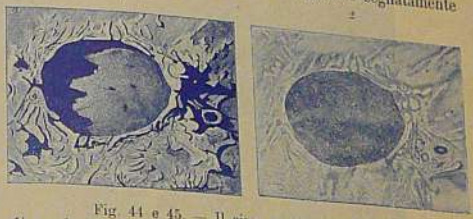


Fig. 44 e 45. — Il circo montagnoso Plato: 1) a sole levante; 2) con illuminazione meridiana, secondo Neison.

Un altro di quei bastioni di pianure o circo montagnoso Tolomeo è rappresentato nella fig. 43. Esso giace sulla Luna all'incirca sulla linea, che nel primo ed ultimo quarto è rasentata dai raggi solari. Nella nostra carta lunare sono dati i limiti, fino ai quali s'avanza l'illuminazione nelle diverse età della Luna, e queste sono scritte sull'equatore. Nel secondo giorno dopo la Luna nuova, ad esempio, è illuminato solo quel pezzo della Luna che giace fra le curve segnate con 0 e con 2; per contro al 17mo giorno dell'età della Luna, cioè due giorni dopo la Luna piena, questo solo pezzo è in ombra. La grande piazza Tolomeo (secondo Galileo) si trova fra le linee di separazione del 7° ed 8° e del 22mo e 23mo giorno; essa comincia cioè a divenire visibile tra 7 ed 8 giorni dopo la Luna nuova, e lo rimane fino al 22mo o 23mo. Esso è segnato 96 [1]. La carta lunare misura esattamente 212 mm., cosicchè su di essa e ritenendo il valore del diametro lunare dato sopra, 1 mm. corrisponde in cifre rotonde a $16\frac{1}{2}$ km. Ora Tolomeo sulla nostra carta è largo

Fig. 46. — Il cratere Plato col sole levante. Disegnato da L. Weinek in Praga il 10 novembre 1884.

(1) A facilitare la ricerca delle diverse regioni sulla nostra carta lunare si deve tener presente quanto segue: La Luna è divisa in quattro quadranti. Tutti gli oggetti contrassegnati con numeri dall'1 al 50 si trovano nel quadrante Nord-Est — dal 50 al 100 in quello Sud-Est — da 101 a 150 in quello Sud-Ovest, e finalmente quelli segnati con numeri compresi fra il 151 ed il 200 in quello Nord-Ovest. I nomi sugli orli della carta sono per ciascun quadrante separatamente disposti secondo l'ordine alfabetico.

circa 9 mm., quindi in realtà esso è largo circa 150 km., ed il regno di Sassonia capirebbe comodamente in questo gran circolo di bastioni. Da ciò si vede che queste maggiori piazze, come le chiamava Galileo, non hanno, nel loro aspetto esterno, altro di comune coi nostri vulcani che la forma tonda. La relazione di grandezza fra l'altezza del bastione ed il diametro della pianura racchiusa è affatto diversa da quella che noi ritroviamo sulla Terra anche in quei casi nei quali,

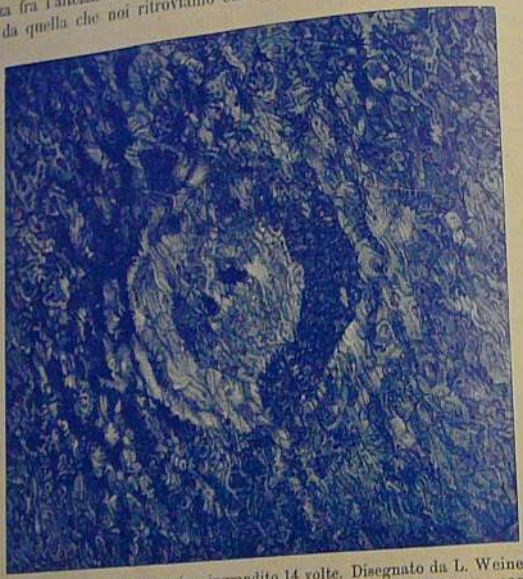


Fig. 47. — Il cratere lunare Copernico, ingrandito 14 volte. Disegnato da L. Weinek in Praga dietro un rilievo originale dell'Osservatorio Lick eseguito il 28 luglio 1891.

come ad esempio nella solfatara di Pozzuoli presso Napoli, l'apertura originale del cratere è stata intieramente protetta da un tetto pieno di materie effluite. Ci si dovrebbe quindi rappresentare un vulcano che avesse all'incirca la periferia della Boemia, ed il cui muro di circonvallazione fosse come i monti che circondano quella regione.

Inoltre per queste maggiori piazze lunari è a notarsi, che nel loro interno esse non lasciano scorgere alcuna conformazione della superficie, per cui, per quanto noi possiamo discernere, sono piani perfetti, interrotti tutt'al più da pori e buchi, che sono sparsi ovunque sulla superficie lunare come cicatrici del vaiolo; su di esse ritorneremo più avanti. Questi buchi, dei quali se ne scorge uno nel cratere Tolomeo da noi rappresentato, non sono evidentemente connessi colla formazione del cratere, quando si conservino presenti per essi dei punti di paragone terrestri. Essi non possono, ad esempio, venire scambiati coi coni di deiezione, i quali prendono sempre una posizione centrale rispetto alla parte del cratere formato dai

loro prodotti di eiezione. Infine devesi notare come un tratto caratteristico di queste formazioni lunari è che la pianura interna, quasi senza eccezione, sta notevolmente più in basso che il livello della regione circostante, il che non si verifica per nessun vulcano terrestre, e col modo con cui sono originati non può verificarsi. Altri crateri di tal fatta sono Albategnius (n° 139 della nostra carta lunare) nei

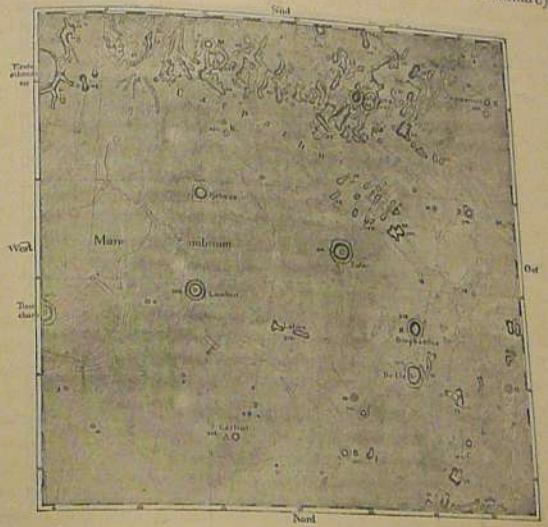


Fig. 48. — Sezione V della grande carta lunare di Lohrmann. Riduzione dall'originale.

pressi di Tolomeo; Archimede (n° 10 del Mare Imbrium); Plato (vedi figg. 44-46) all'orlo settentrionale dello stesso mare (n° 20) e Schickard (66), raccolti al lembo sud est della Luna. Archimede si trova sulla regione lunare degli Apennini (vedi fig. 51) ed è il massimo cratere che si scorga rappresentato nel mare. Il cratere Wargentin (60), che sta presso Schickard, forma una deviazione speciale dalla regola, essendo esso elevato manifestamente come un coperchio di scatola sui piani circostanti, e non approfondito come le altre analoghe formazioni.

Sono forme molto più simili alle terrestri gli anelli di montagne (*Ringgebirge*), i quali contengono un cono centrale. I più grossi di questi crateri raggiungono le dimensioni delle medie *maggiori piazze*. Come tipo di queste montagne lunari vale Copernico (n° 4), uno dei più sorprendenti oggetti che si presenta verso il 9° giorno della lunazione sopra il disco lunare cresciuto fin oltre il primo quarto. Noi lo abbiamo qui riprodotto ingrandito, secondo il disegno fattone da Weinek da un rilievo dell'Osservatorio Lick (V. fig. 47).

Questi cerchi montagnosi con cono centrale hanno ancora qualche rassomiglianza di famiglia colle maggiori piazze. Il fondo del cratere è molto più profondo del terreno circostante e le più alte ed imponenti pareti rocciose non hanno alcun rapporto col cono centrale poco elevato, il quale però visibilmente ha una qualche connessione con quelli. Ben di rado questi monti centrali portano traccie di una

Fig. 49. — Sezione XXIII della grande carta lunare di Lohrmann. Riduzione dall'originale.

apertura di eruzione, la quale tuttavia dovrebbe essere molto visibile, quando, come avviene per i vulcani terrestri, le pareti del cratere si fossero innalzate coll'accatastarsi dei prodotti che nelle eruzioni quell'apertura emette. Questi monti centrali non si elevano mai al di sopra dell'anello di monti che li attornia, anzi rimangono quasi sempre a metà altezza della cavità interna, che in questi crateri non pare più così piana, come nelle maggiori piazze, e che ha sempre il suo punto più depresso nel mezzo, cosicchè ha forma di pozzo. L'interno della massima parte di questi crateri sembra essere costituito da una materia più chiara di quella che forma il resto della superficie lunare.

Per meglio conoscere il tipo di questi crateri descriviamo un po' più minutamente a mezzo della figura che demmo a pag. 100, e delle relative misure del già menzionato selenografo Schmidt, il paesaggio del cratere Copernico. Sebbene il muro di roccia nei suoi grandi tratti formi assai esattamente un cerchio, tuttavia noi vediamo che esso non è un semplice muro connesso solo con se stesso, ma un monte molto complesso, che s'innalza con gradinate o terrazzi ad anfiteatro. Una

semplice occhiata lascia vedere che questi terrazzi s'innalzano assai più dolcemente dall'esterno, di quello che non cadano verso l'interno. Misurato fra questo terrazzo più esterno, il cratere ha un diametro di circa 124 km. Quindi se si portasse la città di Lipsia nell'interno di questo cratere, le catene di colli delle terrazze esterne andrebbero da Chemnitz oltre Riesa, Wittenberg, Eisleben, Apolda e fino a Zwickau. Queste catene di colli elevano le loro sommità più alte appena 8 o 900 m. sul livello della pianura e vi salgono con un angolo d'inclinazione di circa 10 gradi. Verso l'interno, per contro, il terrazzo cade contro il muro principale bruscamente sotto l'angolo da 40 a 60 gradi. Sulle depressioni delle valli intermedie la parete s'innalza ancora per 1000 a 1500 m. sul terrazzo; essa è tuttavia molto frastagliata, intagliata e coronata da non pochi piani e denti a forma di cupola. La vetta più elevata, e che più sorprende per l'ombra che getta, sta sul lato occidentale e raggiunge circa l'altitudine del Monte Bianco. Il diametro di questo muro di circonvallazione ammonta ancora sempre a circa 90 km. Esso cade ripidamente sulla pianura interna, sotto un angolo di 56 o 60 gradi. Ma qui il precipizio è molto più profondo di quel che il monte s'elevi dall'interno, per il che la superficie infima, che ha il diametro di circa 53 km., sta a 2400 m. sotto il livello generale.

Questo fondo di cratere, come si chiamarono questi piani posti nell'interno del cratere per analogia colle formazioni terrestri, ma con tutte le necessarie riserve, anche astraendo dal monte centrale, non è per nulla piano, giacchè in circostanze atmosferiche favorevoli si riconosce che tutto il suolo è disseminato di notevoli sollevamenti e cavità, e di piccole asperità. L'ingrandimento di Weinek rappresenta ciò con innumerevoli e fini filamenti, quasi traccie di vermi che si riconoscono solo con una più attenta disamina. Quest'interno ed il bastione che lo attornia, specialmente quando a Luna piena il Sole sta verticalmente su di essi, sono di uno splendore particolarmente chiaro, ed alcuni luoghi lo conservano ancora a lungo quando qui già tutto è avvolto in notte profonda. Dal fondo del cratere si diparte con pendici poco ripide di circa 20 gradi e sale sino a 600 m., così che la sua vetta rimarrebbe sempre ancora 1800 m. sotto i dintorni esterni di Copernico, e la si vedrebbe a 4000 metri sotto i punti più alti del grande bastione.

Rappresentiamoci bene tutte queste circostanze, e malgrado che ad un esame superficiale la rassomiglianza di questi crateri coi nostri vulcani possa sembrare grande, noi dovremo concedere che in realtà sulla Terra non vi è alcun paesaggio che possa essere paragonato con essi. La similitudine fra queste formazioni circolari che esistono sulla Luna in tutte le dimensioni fino alle minime, ed i nostri vulcani, diviene però sempre maggiore, quanto meno estese sono quelle configurazioni. Solamente noi non dobbiamo scordare che i più piccoli oggetti, che noi possiamo ancora distinguere sulle moderne fotografie lunari, dovrebbero avere almeno le dimensioni dei nostri vulcani, e benchè noi abbiamo trovato che senza fallo oggi coi nostri cannocchiali si vede di più direttamente che coll'aiuto della fotografia, tuttavia i più modesti crateri vulcanici, che nelle migliori circostanze si possono vedere sulla Luna, rappresentano formazioni che sempre devono superare in grandezza i maggiori dei nostri monti ignivomi.

Una differenza che evidentemente ha fondamenti profondi, fra le formazioni topografiche della nostra Luna e quelle terrestri, è costituita dal dominare incon-

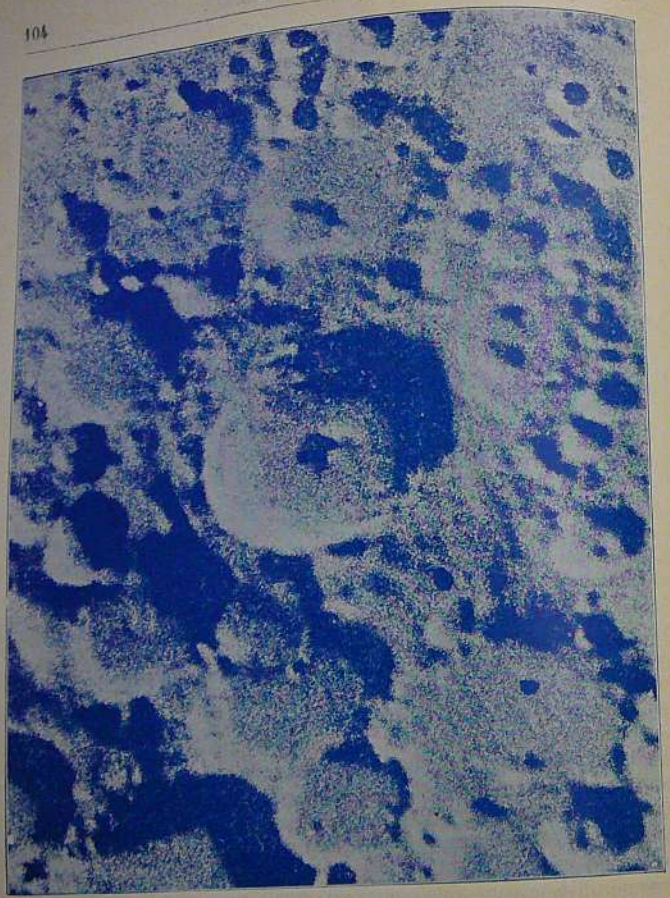


Fig. 50. — Il cratere lunare Tycho e dintorni. Ingrandito 10 volte da L. Weinek in Praga, sopra una negativa originale dell'Osservatorio Lick del 10 novembre 1892.

dizionato della forma anulare delle montagne. Mentre sulla Terra si contano solamente 300 fra vulcani attivi e spenti, la " Carta delle montagne della Luna „ di Schmidt non mostra meno di 32856 crateri, ed essa non contiene certamente tutte le cosifatte conformazioni esistenti sulla Luna. Schmidt stesso dichiara che con un ingrandimento di 600 volte vi si potrebbero noverare ben 100 mila crateri. In base a questo, si può con certezza ritenere, che sulla Luna esistono parecchie

migliaia di crateri che in grazia della loro piccolezza non possono venire constatati. Si consideri ancora che tutta la superficie lunare è 13,4 volte più piccola di quella della Terra, e che di essa noi non ne possiamo scorgere che poco più della metà, e si troverà che in un campo di superficie che sulla Terra contiene un vulcano, sulla Luna si trovano molte migliaia di crateri.

In realtà poi queste configurazioni non sono distribuite uniformemente sulla superficie del nostro satellite, così che in certe regioni si riscontra una maggior folla di crateri che non comporterebbe quella media. La carta della Luna ci mostra al primo colpo d'occhio, che la metà settentrionale della superficie che è a noi visibile e che contemporaneamente contiene i più grandi mari, è molto meno provvista di cavità e crateri che la meridionale. Molto di rado essi si vedono nei mari. Una chiara immagine di questa distribuzione irregolare si ha collocando a fianco e vicine fra loro le sezioni V e XXIII della carta lunare di Lohrmann (V. figg. 48 e 49). Entrambe le immagini riproducono un tratto egualmente grande del disco apparente; in ciò però si deve badare, che il tratto appartenente alla sezione XXIII abbraccia sulla Luna una superficie molto maggiore che la sezione V, e ciò in causa del forte scorcio sotto il quale noi lo vediamo. La prima appartiene al polo sud della Luna, la seconda si trova nel quadrante Nord-Est e contiene segnatamente la superficie del *Mare Imbrium*. Qui noi vediamo gli anelli montuosi sparsi con grande parsimonia, mentre ne formicola il dominio del polo Sud riprodotto.

Questo carattere di " butterato dal vaiolo „ del contorno del polo Sud salta anche all'occhio nel contorno del cratere Tycho, interessante anche per altri rispetti, riprodotto nella figura 50 da un rilievo dell'Osservatorio Lick. I crateri sono qui così strettamente addensati che spesso si compenetrano, si sovrappongono, s'intromettono gli uni cogli altri. Ciò si può assai chiaramente riconoscere nei crateri 97, 98 e 99 (Pictet) della sezione XXIII. Il cratere 98 è manifestamente una formazione posteriore al 97, poichè il suo bastione ha intieramente perturbato a Sud quello dell'ultimo, e fabbricato il proprio muro sul fondo originale del cratere di Pictet. Il cratere 99 si originò più a Sud da esso, di guisa che ha comune col suo vicino una parte del suo bastione. Non si riscontra in altri casi questa comunanza di bastioni, ed i fondi dei crateri sono entrati in immediato collegamento fra loro; in altri luoghi, i crateri sono allineati come le perle di una collana. In breve, appena è possibile pensare una combinazione di queste enigmatiche configurazioni, che non si riscontri sulla Luna. Le piccole e le grandi cavità dei crateri, che si riscontrano nel terreno specialmente nei pressi dei grandi circhi montagnosi, fanno una particolare impressione, quasi che gigantesche goccie di pioggia cadendo sopra un suolo di melma impartissero ad esso l'aspetto curioso ed a cavità che ci presenta. Specialmente nei dintorni di Tycho, Tolomeo e Copernico si vedono molti di questi piccoli pozzi.

Il carattere montagnoso della Luna si distingue ancora da quello della Terra per la predominanza di montagne anulari, mentre da noi le catene di montagna formano la regola generale. Di tali catene di montagne sonvene però anche sulla Luna, come quelle particolarmente del giogo montagnoso degli Apennini lunari, che presenta un aspetto insolitamente attraente, all'epoca del primo e dell'ultimo quarto, allorchè si trova sul limite d'ombra. Questa montagna è rafligurata nella nostra

Tavola tratta da una fotografia dell'Osservatorio Lick. Guardando direttamente in un cannocchiale si vede uno smembramento ancora più intricato. Nella carta di Mädler sono riportate ben 500 vette di questa catena; ma lo stesso astronomo pensa che quella giogaia in realtà consti di 2 o 3 mila vette separate. Se ci facciamo a riguardare più da vicino la costruzione di queste montagne, avviene la medesima cosa che per i monti ad anello. Si riconosce cioè che la loro similitudine colle analoghe formazioni terrestri è più casuale che fondata sopra una intima connessione. Per vedere ciò, ci basta considerare la figura 52, nella quale abbiamo rappresentato la Corsica, quale la si vedrebbe coll'illuminazione di una montagna lunare. Mentre qui appare una linea mediana di più alti sollevamenti, dalla quale la montagna declina assai regolarmente verso le due parti, ed intorno alla quale si raggruppano le valli trasversali prodotte dall'erosione, come i rami attorno al tronco principale, nelle catene dei monti lunari non si scoprì finora alcuna costituzione simile a quella che si possa spiegare collo screpolarsi della crosta terrestre che va consolidandosi e restringendosi. Si riscontra per contro una rassomiglianza casuale col bastione di un monte a circo. Gli Appennini s'innalzano a Sud-Ovest dolcemente a terrazzi, raggiungono bruscamente sul *Mare Imbrium* la loro massima altezza (la più eccelsa vetta, Huyghens, s'eleva sulla pianura a circa 5600 m.) e quindi scendono ripidamente al mare. Nè le alte vette di queste montagne lunari costituiscono quell'addentellato così caratteristico della Terra, con denti, guglie, corni, ma hanno per lo più una forma arrotondata a cupola, come anche le cime dei bastioni.

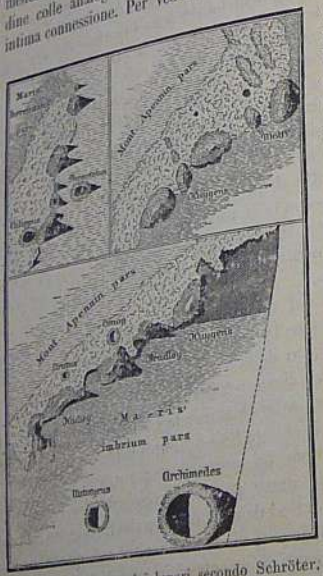
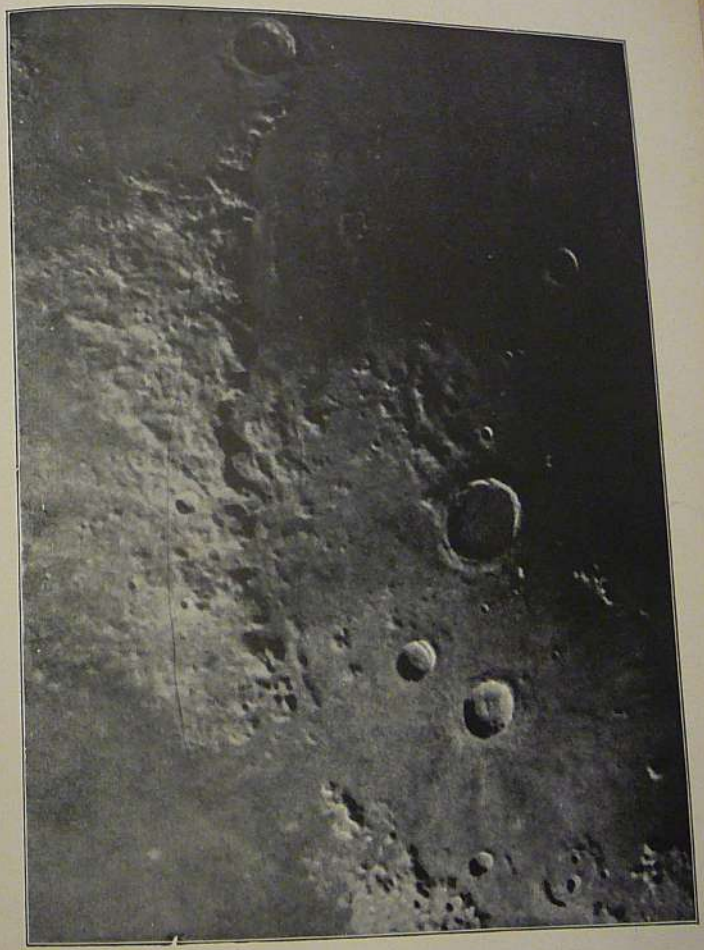


Fig. 51. — Gli Apennini lunari secondo Schröter, dai *Selenotopographische Fragmente* di Schröter.

Se esaminiamo più da vicino il Mare Imbrium, rispetto a questa supposta analogia coi piani circondati da bastioni, noi scopriamo che quasi dappertutto ai suoi orli esso è limitato da simili giogaie di monti, che si racchiudono poi in simili pareti o bastioni, solo interrotte in relativamente pochi luoghi. Questo bastione a Sud forma la montagna lunare dei Carpati, a Sud-Ovest si chiudono gli Appennini, cui a Nord-Ovest tengono dietro le Alpi, regione assai sviluppata ed interessante, le cui estreme pendici montuose delimitano il bel cratere di Platone. La serie di monti prosegue oltre verso Ovest, e forma il capo Laplace (n° 15 della nostra carta lunare) che precipita ripidamente nel piano del mare;



La catena degli Apennini sulla Luna

(Secondo un rilievo fotografico eseguito dall'Osservatorio Lick).

capo che evidentemente si originò nel luogo ove un altro grande cratere si era aperto per metà sull'orlo del potente muro dei notevoli monti che racchiude il Mare Imbrium, del quale ancora oggi sussiste la metà settentrionale, il Sinus Iridum, " il golfo dell'arcobaleno ". La diramazione orientale del Mare Imbrium che finisce qui, è formata unicamente da serie di alture più basse, ma il suo aspetto rivela la sua connessione colle rimanenti parti della grandiosa muraglia. Si può inoltre dimostrare che la superficie interna del Mare Imbrium, che appare fortemente ellittica sul disco visibile della Luna, in realtà sulla Luna, che ha la forma sferica, forma un circolo quasi esatto, che solamente a causa della posizione obliqua della nostra visuale si mostra a noi così in iscorcio. Questa regione, che abbraccia 880000 km. q., vale a dire la 22ma parte di tutta la superficie dell'emisfero lunare visibile, è così un enorme cerchio di bastioni costrutto come tutte le altre migliaia di quelli che vengono chiamati crateri lunari.

Fig. 52. — L'isola di Corsica veduta a volo d'uccello, illuminata obliquamente dal Sole.

Anche le rimanenti maggiori giogaie della Luna racchiudono pianure circolari, come *Hämus* e *Taurus* del *Mare Serenitatis*. Noi arriviamo per tanto alla conclusione che anche queste forme di montagne hanno colle nostre unicamente una rassomiglianza esterna, ma geneticamente, senza dubbio, sono diverse da esse, e stanno in stretta dipendenza colla formazione di quelle grandi muraglie.

La cosa procede diversamente per quelle che sono chiamate *vene di monti (Bergadern)*, basse catene di colli che si riscontrano sulla Luna in assai gran numero, non mostrano alcuna disposizione a forma d'anello e s'accostano generalmente più al tipo delle montagne terrestri. Esse si elevano sempre con dolci declivi di appena 5 gradi d'inclinazione, e secondo Madler talune non raggiungono un'elevazione superiore ai 15 o 20 m. Esse perciò non potrebbero essere vedute, se essendo assai schiacciate non fossero molto larghe; le principali fra esse sono visibili solamente coll'illuminazione molto obliqua del levare o del tramontare del Sole. Questi risalti montuosi si presentano solamente nei mari e nelle superficie interne loro collegate dei crateri, ma non stanno in alcuna manifesta dipendenza coi bastioni dei circhi vicini o colle catene di montagne che li delimitano. I loro dossi larghissimi si distendono spesso per molte miglia, senza venir interrotte da vette culminanti. Una regione sulla quale si riscontrano in modo caratteristico tali serie di alture, è la parte Sud del *Mare Imbrium* (Sezione della carta di Lohrmann, fig. 48).

La natura montagnosa della Luna si distingue assai notevolmente da quella della Terra, in ciò che sul mondo nostro vicino si riscontrano assai più frequenti che da noi, i coni di monti, i picchi, i massi di roccia separati. In particolare modo essi s'adergono sui mari affatto bruscamente e con grande ripidezza; come ad esempio Pico, un cono montuoso che si slancia fino a più di 2000 m. alquanto a Sud del cratere di Platone dalla superficie del *Mare Imbrium*, sotto un angolo

d'inclinazione da 30 a 35 gradi. La sua altezza è quindi all'incirca quella del Rigi o del Pilato, ma inutilmente si cercherebbe sulla Terra un monte di dimensioni simili, il quale senza collegamento alcuno colle catene di montagne, si elevi isolato come questo: giacchè gli stessi nostri vulcani stanno per lo più sopra il profilo delle più alte giogaie di monti, come quelli della Sierra Nevada e delle Ande. Ma se tale non è il caso, ed un vulcano si drizza apparentemente affatto isolato sulla pianura, tuttavia il più rapido sguardo alla carta dimostra sempre che esso è solamente un membro di una schiera di vulcani disposti lungo una linea come le perle di un vezzo, e che rispetto alla costituzione è in connessione cogli altri.

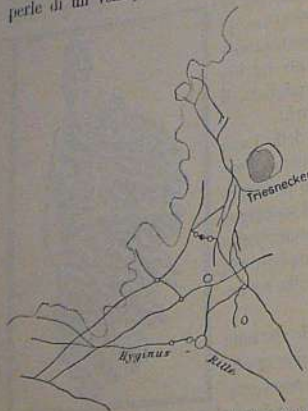


Fig. 53. — I solchi di Hyginus ed il sistema di solchi di Triesnecker, in rappresentazione schematica.

Nulla di simile si verifica per quei numerosi coni montuosi isolati della Luna, i quali d'altronde nella loro struttura nulla lasciano vedere che possa far congetturare di una origine vulcanica. Questi coni isolati posseggono per lo più inoltre delle cime che irradiano in modo straordinariamente lucente.

Ma sulla superficie della Luna noi c'imbattiamo in due altre particolarità topografiche, che son chiamate i *solchi* ed i *sistemi dei raggi*, che sono più rari, ed ancora meno paragonabili cogli oggetti terrestri, delle forme montuose finora descritte.

I solchi si possono assai bene paragonare a gigantesche spaccature della superficie lunare. Noi dobbiamo separarli nettamente in due classi, che hanno manifestamente origine diversa, e delle quali una si presenta molto raramente. Il loro rappresentante per eccellenza è la grande *valle trasversale delle Alpi*, che noi rappresentiamo in una delle nostre figure, riprodotta da un ingrandimento fatto da Weinek di una fotografia presa da Loewy e Puiseux in Parigi il 14 marzo 1894. Si vede dal disegno che questo solco, largo circa 4 km. e lungo 150 km., corre attraverso al gruppo delle Alpi lunari, quasi incurante dell'andamento della sua catena di alture, in direzione quasi rettilinea; e giudicando secondo le opinioni terrestri senza alcuna dipendenza colla morfologia della montagna, si riceve a tutta prima l'impressione che ci stia innanzi una breccia enorme, proveniente da un proiettile della grossezza di un corpo cosmico, che abbia colpito colà la superficie della Luna. Intorno ad un solco all'ovest del bastione di *Cesare*, Schmidt ha osservato che esso ha " il carattere delle grandi valli alpine ". D'altro nulla di simile sembra esistere sulla Luna.

I solchi propriamente detti, dei quali ben 348 sono annoverati da Schmidt nella sua grande opera, hanno, per contro, l'aspetto di vere spaccature nella superficie lunare: essi non sono valli ma spalancano il loro crepaccio, cadente per lo più a perpendicolo, senza alcun risvolto al margine, bruscamente nella pianura. Essi

pure quindi non sono visibili che col Sole molto basso, quando nulla dell'interno è ancora illuminato; non appena il Sole s'eleva un pochino di più, così da colpire una delle pareti laterali, il solco sparisce per noi completamente. Mentre questi crepacci procedono per lo più ad un dipresso in linea retta, essi occasionalmente mostrano tuttavia, a differenza delle su menzionate " valli a breccia ", anche diramazioni ed incurvamenti, che in taluni casi non li rendono dissimili da letti di fiume. Noi diamo (V. figg. 53 e 54) due rappresentazioni di solchi, dei quali il primo, il grandioso solco di Hyginus che si trova all'incirca nel mezzo del disco lunare, appare come una notevole spaccatura della superficie, che salti attraverso al cratere di mezzo, attraversando poi nel suo cammino ulteriore un numero di piccoli crateri, mentre il solco che si diparte da Erodoto appartiene al tipo molto più raro delle depressioni contorte, che nel caso precedente fa precisamente l'impressione di una valle di un fiume la quale sbocchi in uno dei laghi o crateri racchiusi dal bastione di Erodoto.

Fig. 54. — I crateri lunari Aristarco ed Erodoto. Disegnati da L. Weinek in Praga il 6 marzo 1887.

Tenendo dietro al solco, camminando a ritroso, e partendo dalla sua parte più larga, vediamo che esso comincia dal suolo del cratere, attraversa il bastione a Nord, prosegue quindi dirigendosi a Nord con alcune linee leggermente ondulanti, sempre fra serie di monti, fino a un luogo ove una catena di colline sbarrerebbe il corso ad un fiume; si piega quindi non altrimenti di quello che in un simile terreno farebbe un corso d'acqua, verso Sud-Est, battendo una via sotto un dosso di monti, per perdersi da ultimo in un piano che il gruppo di monti lascia libero sulla sponda dell'*Oceanus Procellarum*. Quindi se anche in questo caso è appena possibile il sostenere l'analogia col corso dei nostri fiumi, tuttavia non bisogna dimenticare che così fatte configurazioni sono molto rare sulla Luna. Fu affermato che anche i solchi a forma di crepacci hanno il loro contrapposto sulla Terra, nei *Cañons* americani, specialmente del Colorado, e che quindi potrebbero anche eventualmente attribuirsi all'azione dell'acqua sulla Luna, quando si potesse però addurre in proposito qualche argomento più fondato di questa rassomiglianza esterna. La figura 55, che rappresenta il grande *Cañon del Colorado*, fa tuttavia un'impressione analoga a quella che desterebbero in un osservatore sulla Luna alcuni dei solchi che vi esistono. Devesi però riconoscere una differenza essenziale fra queste configurazioni racchiuse ed i nostri fiumi, in ciò che il corso dei solchi non si plasma sulle differenze d'altezza del terreno, ma senza deviazione di sorta attraversa pareti di crateri e catene di alture.

Per vero dire anche la Terra ci presenta di tali spaccature delle masse montagnose, e fessure aperte. Esse sono però, in generale, conseguenza dei così detti movimenti tectonici della crosta terrestre, che produssero le screpolature dei nostri

Fig. 55. — Il Cañon del fiume Colorado nell'America del Nord, come contrapposto terrestre delle formazioni a solchi della Luna.

monti, e quindi non sono del pari causate dall'acqua. Presso di noi però non raggiungono mai dimensioni così potenti, quali quelle dei solchi lunari, e generalmente sono rare.

Come una delle più importanti formazioni terrestri di questo genere, giova menzionare la valle Yosemithe (V. fig. 56), che ha spaccato il granito della Sierra Nevada

in California, e forma precipizio quasi verticale di 1000 m. ed i cui orli superiori distano fra loro da 2 a 3 km. La figura succitata rappresenta questa regione, quale la si dovrebbe raffigurare sotto le condizioni d'illuminazione corrispondenti alla Luna. Se si fa intieramente astrazione dalla forma montagnosa, i solchi, per il loro aspetto, potrebbero assai bene paragonarsi con quelle screpolature che si generano nell'argilla e nelle masse di fango disseccate.

Ma quelli che si chiamano i *sistemi di raggi* sulla Luna non possono in modo alcuno paragonarsi colle circostanze topografiche della nostra Terra. Questi non sono nè sollevamenti nè depressioni, perchè non gettano ombra di sorta; esse quindi non sono percettibili con basse posizioni del Sole, mentre a Luna piena quando per noi scompaiono quasi tutte le altre particolarità della superficie lunare, diventano oggetti così importanti, che Mädler affermava che in circostanze favorevoli si potevano scorgere ad occhio nudo, od almeno con un binoccolo da teatro. Da certi punti poi della superficie lunare si dipartono delle larghe striscie chiare che procedono da essi irradiando in tutte le direzioni. Nel centro, senza eccezione si trova un circo di monti, e talvolta un cratere. I due massimi sistemi di raggi procedono dalle maggiori piazze, a noi ben note, di Tycho e Copernico. Essi si possono ben distinguere nella nostra Fotografia lunare (vedi tavola). Il sistema intorno a Tycho si stende sul quarto di tutta la superficie lunare visibile, ed alcuni raggi hanno una larghezza di parecchie miglia. Senza alcun intoppo essi corrono sopra differenze di elevazione, sopra monti, sopra intieri circhi di monti, sulle pianure, e talvolta i raggi di diversi sistemi s'incontrano, s'incrociano, senza perturbarsi.

Il genere di disposizione dei raggi attorno al loro centro può convenientemente paragonarsi colle fessure in una sfera di vetro che venga fatta scoppiare con una pressione dall'interno. La figura 57 che diamo a pagina 112 assieme a quella della Luna piena coi suoi sistemi di raggi, rappresenta una sfera di vetro fatta scoppiare in tal guisa da Nasmyth e Carpenter. Essi riuscirono a ciò nel modo seguente. Riempirono d'acqua la sfera di vetro che poi chiusero ermeticamente, immergendola in seguito in un bagno caldo. Poichè l'acqua rinchiusa si dilata più fortemente dell'involucro del pallone, essa esercita contro di esso una pressione e rompe la sfera al punto dove essa opponeva la minima resistenza, secondo un gran numero di fessure divergenti da quel punto, attraverso alle quali l'acqua trapela. Tali fessure hanno orli taglienti, come i solchi sulla Luna; ma come già si disse, i raggi non mostrano mai una benchè minima differenza di rilievo della superficie; essi vengono distinti solamente a mezzo di una più lucente colorazione del terreno; quindi si vede che i grandi solchi prodottisi primieramente vennero in seguito riempiti da materia fusa. Mädler contò sulla Luna solo sette sistemi di raggi di questa specie; mentre Schmidt dimostrò che certi crateri lucenti, e per ultimo anche certi punti brillanti isolati della superficie lunare, si debbono considerare almeno come formazioni connesse a sistemi di raggi, col che il loro numero si eleva a circa cento. I circhi di montagne dai quali si dipartiscono i principali sistemi di raggi, appartengono già di per sè ai più lucidi punti della superficie lunare; i crateri risplendenti formano una configurazione intermedia, inquantochè, come si è osservato in circostanze molto favorevoli, le loro aureole si risolvono in linee molto fine, i cui singoli elementi solo in causa dei difetti del ponte

ottico che si congiunge alla Luna (ingrandimento troppo debole, agitazione dell'aria) si raccolgono insieme in una sola apparenza lucente. Analogamente con chimile Schmidt, che anche i punti lucenti separati, che non sappiamo risolvere in tali raggi uscenti da un punto, appartengono pur tuttavia alla medesima categoria.

Fig. 56. — La valle Yosemithe, intesa come solco lunare.

Una delle più interessanti fra queste macchie luminose è il piccolo cratere Linneo, che si trova nel *Mare Serenitatis* presso al suo congiungimento col *Mare Imbrium*, al piede settentrionale delle Alpi. Noi lo diamo disegnato coi suoi contorni secondo una fotografia di Loewy e Puiseux ingrandita da Weinek (V. tavola). Schmidt lo descrive quale un piccolo coperchio bianco, che con una posizione del Sole molto obliqua, ed in cannocchiali molto potenti, mostra un piccolissimo punto nero, che però si presenta anche in altri piccoli crateri. Anche qui pare come se avessimo davanti a noi l'immagine di un vulcano terrestre, il piccolo punto nero sarebbe la bocca di emissione, il contorno chiaro uno straripamento di lava. Ma nel caso presente lo strano è che il cratere Linneo aveva una volta, quando Lohrmann e Mädler delinearono le loro carte, indubbiamente un aspetto assai differente da quello che ha oggidì. Anche Schmidt fino al 1843 lo vide ancora come un cratere solito di 10 km. di diametro e di 340 m. di profondità.

Questa forma del piccolo cratere non sarebbe stata affermata con tanta determinatezza poichè nella farraggine dei dettagli topografici che si dovevano disegnare

Fig. 57.

Luna piena con raggi. Sfera di vetro spaccata artificialmente.

Secondo Nasmyth e Carpenter.

poteva ben essere sfuggito un errore, quando precisamente quest'oggetto non fosse stato dai due selenografi sopra nominati utilizzato come un punto fisso di primo ordine, e che come tale dovette essere molto spesso osservato. Ciò avvenne allora molto spesso, a quel tempo in cui il cratere vicino al limite di luce, gettava ombre ancora lunghe, ciò che oggi generalmente non avviene più; così che esso nella corrispondente età della Luna, o non è più visibile, o non lo è che molto diffi-

Una parte delle Alpi lunari colla gran valle trasversale.

Il cratere lunare Linneo ed i suoi dintorni.

cilmente, così che non è possibile che potesse venir scelto come punto di partenza di misure esatte. La sua natura di macchia lucente lo mostra come tutti gli altri simili oggetti solo illuminato dall'alto. Schmidt è perciò persuaso che intorno alla metà del nostro secolo è avvenuta un'eruzione, che ha riempito la cavità del cratere di materia chiara, e ad un tempo scorrendo sopra gli orli del cratere ha ragguagliato i declivi esterni, così che ora il tutto non getta quasi più ombra. Quindi qui alla somiglianza esterna con un vulcano si aggiunsero anche le traccie di un'eruzione avvenuta in questi ultimi tempi.

Questo caso promuove la domanda se la conformazione topografica della Luna ci stia innanzi come qualche cosa di finito, ovvero se la sua superficie, come quella della Terra, sia ancora sottoposta a mutazioni costanti. All'aspetto noi dovremmo pure ammettere che questo corpo celeste si trova in uno stato di perfetta rigidità. Tutte le particolarità delle quali abbonda la carta della Luna a noi nota, in modo più largo e pieno di quella della Terra, per quanto noi possiamo discernere, rimangono affatto invariate, astraendo da pochi insignificanti ed ancora dubbiosi accenni di mutazioni, dei quali quello che si riferisce a Linneo è il più notevole. Però si possono ancora addurre alcuni casi simili. Nel bel cratere di Posidonio (178) che all'orlo nord-ovest del *Mare Serenitatis* chiude il Monte Tauno, quasi in mezzo del circo si eleva un piccolo cratere, che nelle circostanze ordinarie appare come un pozzo vero, cioè getta ombra nel mezzo. Quest'ombra era, come osservarono Schröter e più tardi Schmidt, scomparsa a certa epoca, il che si può solamente spiegare coll'ammettere che allora l'interno del cratere fosse stato riempito da materia. Sembra quindi che in questo cratere una qualche materia fluida talvolta s'innalzi, per abbassarsi poi di nuovo al suo livello ordinario.

Fig. 58. — Piccolo nuovo cratere Hyginus N. Secondo disegni di Neison.

Un altro esempio è quello scoperto il 19 maggio 1877 da Hermann J. Klein: è un nuovo cratere vicino ad Hyginus (158). Sebbene questa regione che si trova nel mezzo del disco lunare visibile sia stata da tutti quelli che osservano la Luna osservata le centinaia di volte e disegnata con cura, tuttavia in nessuno di questi disegni fino al 1877 si scorge traccia di quel cratere, sebbene di poi sia sempre facile vederlo, sotto date condizioni d'illuminazione, anche con deboli mezzi ottici. Lo stesso avviene con una depressione in forma di valle nei pressi di questo nuovo cratere, la quale prima non era stata avvertita. E per ultimo accenniamo che

Weinek fece notare un piccolo cratere, che egli vide per la prima volta il 14 di ottobre del 1891, e che a quanto sembra non esisteva prima. Se ciò nullameno, gli astronomi conservano ancora dei dubbi sul valore della testimonianza dei dati raccolti nei casi precedenti in favore di variazioni realmente accadute in quegli oggetti lunari, ciò dipende dall'enorme difficoltà che anche oggi accompagna queste investigazioni. Per questo si vedano le fig. 37e 38 che rappresentano il circo di monte *Arzachel* (86), che furono riprodotte da una fotografia dell'Osservatorio Lick ingrandita da Weinek. Il primo rilievo fu fatto il 15 agosto 1888, l'altro al 27 del mese stesso. Sebbene si riconosca subito che si tratta dell'oggetto medesimo, ciò che d'altronde non avviene sempre per altri oggetti, tuttavia dalla cambiata illuminazione la forma di quasi tutti i dettagli viene così apparentemente alterata, che se non si fosse avvezzi ad osservare tali variazioni sulla Luna, da quelle due sole figure si potrebbe conchiudere all'avvenimento di variazioni essenziali della forma superficiale di questo oggetto.

Noi non vogliamo qui soffermarci ulteriormente sui dettagli; basti l'accennare al dosso montagnoso nel mezzo del circo di monti, che nella seconda figura appare d'assai più corto che nella prima. Non è possibile il liberarsi da quella incomoda e perturbante diversità d'illuminazione, neppure osservando ripetutamente la stessa regione alla medesima e precisa età della Luna, giacchè nel frattempo l'apparente e reale oscillare della Luna, la librazione altera anche la posizione della sua superficie rispetto al Sole, ed apporta perciò diversa illuminazione colla stessa altezza del Sole, in grazia del diverso orientamento rispetto alle regioni del cielo. Noi possiamo riscontrare questo spostamento ben distintamente nelle due ultime figure considerate; esse sono affatto esattamente orientate rispetto alle direzioni celesti, tuttavia noi vediamo subito che la seconda figura mostra tutta la regione spostata verso sinistra. Solamente una lunga serie di rilievi lunari, ripetuti indipendentemente dalla percezione personale dell'osservatore e durante le più diverse condizioni d'illuminazione, potrà dopo non poche diecine d'anni portarci a conoscere un pochino di più, se e come oggi ancora le forze della natura lavorino alla conformazione della superficie lunare. Noi ci avvediamo pur sempre, quanto giovane sia ancora la più antica fra le scienze che si occupa di quanto avviene in quei campi, per i quali l'età dell'uomo non è che un istante.

Non può di per sè porsi in dubbio, che sulla Luna debbono avvenire costanti variazioni, a meno che i principii generali della natura valgano colà diversamente che sulla Terra. Che ciò non sia noi vogliamo leggere e dimostrare nei fenomeni celesti, non dobbiamo pertanto presupporlo a spiegazioni di fatti. Ma poichè la Terra, che noi abbiamo pur ora abbandonato, per avviarci sul ponte ottico preparatoci dal telescopio, deve servire come punto di partenza e di paragone per tutte le nostre considerazioni sui corpi celesti, non sarà superfluo l'osservare che tutte le variazioni alle quali fu soggetta la superficie del nostro pianeta, dall'epoca in cui noi siamo in caso di investigare la Luna più da presso, vedute da quel corpo celeste non sarebbero state così notevoli, e avrebbero potuto con pari facilità non essere notate, come pare sia il caso per noi colla Luna. L'ipotesi pertanto, che le forze della natura abbiano lavorato alla conformazione della superficie lunare, ancora così vivacemente come sulla Terra, non sarebbe contraddetta dai fatti, almeno limitandola alla topografia della Luna.

Per verità noi ci avvediamo subito che l'elemento cui tocca la parte principale nella formazione delle nostre montagne terrestri, e sopratutto nel dar figura alla crosta terrestre, l'acqua, ha finito presentemente senza dubbio la sua azione; se pur esso ha mai avuto una parte importante nello sviluppo e nell'evoluzione della Luna, contro il che si pronunzia l'occhio. Abbiamo già avvertito che colà appena si riscontrano indizi di corsi di fiumi o di valli montagnose, del genere di quelli che presso di noi scava l'acqua corrente. E neanche le catene di montagne sono così disposte come le nostre che le loro creste mostrino dei denti ed intagli, rimasti saldi fra burroni e forre di furiosi torrenti. D'altra parte l'aspetto il quale, in quanto valgono le nostre precedenti considerazioni, può solo incidentalmente apportarci argomenti contro od in favore di una opinione, nulla ci dice che sia contrario all'idea che quei bassi piani, che noi abbiamo chiamati mari, siano stati una volta realmente dei mari, i cui ultimi depositi, secondo i nostri concetti, potessero prodursi regolarmente orizzontali solo sotto l'influenza dell'acqua. Le vene montagnose o cordoni rialzati, che risaltano in circostanze favorevoli tra le altre innumerevoli asperità e disuguaglianze onde sono coperti i mari, erano quindi una volta alte catene di montagne che ora sono incastrate nei depositi di fango marino.

Tutti gli effetti parimenti dell'attività dell'acqua dipendono presso di noi dall'incessante circolazione del mobile elemento, dal mare alle nubi, e da queste alla superficie terrestre, e finalmente a mezzo dei corsi d'acqua di nuovo al mare. Non sarebbe possibile immaginare questa attività dell'acqua che scalpella le montagne dalla superficie liscia della Terra, senza le nubi dalle quali essa scende in forma di pioggia o di neve. Ma sulla Luna non ci sono nubi. Esse dovrebbero talvolta velare piccole o vaste regioni lunari, e ciò non avviene mai. Sempre, purchè la nostra atmosfera non sia torbida, i paesaggi lunari ci appaiono limitati da contorni tanto netti, quali noi non potremmo mai vederli sulla nostra Terra da un simile punto cosmico d'osservazione; sulla Luna non vi è penombra, quale è quella che presso di noi è prodotta dalla luce del cielo tinto in azzurro diffusa dal nostro involucro vaporoso. Per contro talvolta pare che leggieri veli di nebbia possano di passaggio offuscare al nostro sguardo alcune ristrette regioni lunari. Alcuni osservatori della Luna non poterono talvolta avvertirne le particolarità a loro ben note, mentre altre più difficili si vedevano ben distintamente nelle vicinanze; poco dopo queste regioni, nelle quali in causa del mutato aspetto già si sospettavano mutazioni, ritornavano ad apparire quali erano prima.

Anche il magnifico circo di monti di Platone (20) all'estremo Nord delle Alpi mostra apparenze molto speciali e riferibili ad azioni discutibili. Con accurate osservazioni di lunga durata si è stabilito che la superficie interna di quel circo di montagne cambia regolarmente la sua tinta colla posizione del Sole. A tutta prima, quando il Sole incomincia a rischiarare la superficie interna, nulla di notevole si manifesta; la superficie bigia diviene sempre più chiara. Ma più tardi, non appena il Sole ha raggiunto l'altezza di più di 20 gradi, deviando dalla regola, quel piano non continua a divenire più chiaro, fino a Luna piena, ma per contro più scuro, all'incirca fino all'istante di mezzogiorno per quel luogo, per ricominciare a farsi più lucido coll'abbassarsi del Sole. È impossibile l'attribuire ad una qualsiasi illusione ottica questo fenomeno che, d'altronde, non si constata mai

altrove sulla Luna; esso sarebbe spiegabile, ammettendo che piccoli resti di umidità, racchiusi nel circo, siano vaporizzati dal calore del Sole, così da formare delle nebbie, che si stendono sul suolo della superficie esterna, e che solo il Sole meridiano dissipa.

Con ciò l'osservazione dimostra che ad ogni modo l'acqua allo stato liquido o di vapore esiste sulla Luna in quantità molto piccola, ma con ciò non è detto che essa vi debba mancare nel suo terzo stato d'aggregazione, il solido, come ghiaccio. A questo riguardo l'occhio terrestre è messo in sull'avviso dal fatto, che sulla Luna molte vette montagnose sono, come presso di noi le vette delle Alpi, più bianche che non i loro dintorni più bassi; ed invero alcune di esse riflucono così fortemente, che spesso col loro bagliore rompono le fitte tenebre della notte lunare, allorquando la Terra manda loro la sua luce, e la Luna ci si mostra nella luce cinerea. Allora nel cannocchiale si vedono talvolta alcuni punti luminosi, per lo più i medesimi, che anche a Luna piena si fanno notare per il loro vivo splendore; così ad esempio le regioni di Aristarco ed Erodoto (13 e 14) risplendono siffattamente nel crepuscolo che li circonda, che una volta si credette di poterli riguardare come i focolari di vulcani attivi.

Ranyard osserva, e sia pure secondo i concetti terrestri, essere un errore geologico l'ipotesi che sulla Luna le vette delle montagne possano essere costituite da un materiale diverso da quello delle altre parti della superficie, e che potrebbero esser fatte di marmo, quando non si voglia riguardare come ghiaccio quest'altro materiale. Però in ciò non devesi dimenticare che la causa che presso di noi copre di ghiaccio le montagne non può agire che in misura d'assai più debole sulla Luna povera di aria; se la Luna fosse generalmente priva d'atmosfera, il freddo dello spazio celeste, che in ogni caso è inferiore ai 100 gradi sotto lo zero centigrado, senza fare differenza d'altezza, avvolgerebbe tutta la superficie lunare. Ma se colà esiste del ghiaccio, almeno temporaneamente deve pure esistervi un'atmosfera di vapore acqueo, giacchè in esso deve convertirsi il ghiaccio per l'intensa irradiazione solare. Ma allora questo vapore d'acqua forma un mantello che potrebbe ben spiegare quella diminuzione di temperatura coll'altezza. Anche il fatto che non solo le cime dei monti, ma anche i più bassi fondi dei crateri d'ordinario irradiano luce viva, potrebbe essere indizio dell'esistenza di ghiaccio in essi. Ma se sulla Luna è mai esistito qualche liquido, esso deve essersi raccolto in queste profonde regioni della sua superficie; e se esso più tardi si è solidificato in ghiaccio, pur astraendo dall'azione protettrice di un qualsiasi involucro aereo, questo procedimento dovette cominciare primieramente in queste cavità profonde, dove l'azione dissolvente del Sole deve essere minima a causa dell'ombra che durante la massima parte del giorno lunare le pareti del circo proiettano sul suo interno.

La questione della presenza del ghiaccio sulla Luna potrà forse risolversi un giorno collo studio continuato dell'irradiazione calorifica di questo corpo celeste vicino. Secondo la credenza del popolo la Luna irradia direttamente il freddo. Il contadino crede che quando nelle serene notti di maggio la luce lunare cade sui giovani germogli del suo seminato, li faccia gelare. Vi è in ciò veramente qualche cosa di giusto, ma non dipende per nulla dall'irradiazione di freddo dalla Luna. Sarebbe difatti appena comprensibile che la Luna, che ci rinvia tanta della luce largitale dal Sole, dovesse tenere per sè, inghiottendolo, tutto il calore solare che

le è dato assieme alla luce. La Luna ci restituisce in realtà alcunchè del calore solare ricevuto, ma in così tenue misura, che appena lo si può constatare coi più delicati apparecchi della nostra fisica moderna. Nel secolo precedente Tschirnhausen rivolse alla Luna uno specchio potente, che colla luce solare ridusse in 12 minuti un pezzo di asbesto in vetro fuso, ed il termometro esposto nel suo fuoco non ne fu neppure toccato (*a*). Più tardi Piazzi Smyth ha ripetuto quest'esperienza con istrumenti perfezionati, e per eliminare per quanto era possibile l'azione assorbente dell'atmosfera terrestre operò sulla cima del Picco di Teneriffa, e giunse al risultato che la Luna ci manda tre volte meno di calore di una candela a 5 m. di distanza.

Ma dopochè colla scoperta del *bolometro* si riesce a rendere avvertibili quantità di calore estremamente piccole a mezzo della loro conversione in elettricità, si riuscì in questi ultimi tempi a dimostrare che, del calore che la Luna teoricamente ci dovrebbe mandare, e che farebbe salire un termometro di circa la 5000ma parte di un grado centigrado, giunge a noi solo una piccola frazione, all'incirca il 12 per cento; la rimanente parte viene assorbita dalla Luna e ritorna poi alla sua superficie, che la irradia poi di nuovo in seguito. Ciò potrebbe provarsi a mezzo delle proprietà di certe onde calorifiche, che fisicamente si comportano come le già menzionate onde luminose. Come la luce, il calore riflesso si comporta diversamente da quello irradiato direttamente. Il calore assorbito viene naturalmente anche restituito, ma più tardi di quello riflesso subito. Ciò si constata chiaramente a mezzo del bolometro che attesta un rapido crescere della temperatura lunare nelle regioni a mattino della sua superficie, donde a noi solo giunge la potenza dilatante del calore solare. Quando per contro nel pomeriggio la superficie si è saturata di calore, questo calore proprio acquistato e che ora viene di nuovo emanato nello spazio celeste freddissimo, sostituisce una parte notevole dell'irradiazione solare che diminuisce col Sole che tramonta.

L'irradiazione totale di calore della Luna cresce nel primo quarto assai più rapidamente di quello che diminuisca nell'ultimo quarto. Ciò fu già concordemente dimostrato prima da Böddicker col grande specchio di Lord Rosse e quindi dall'americano Frank Bery col bolometro. E si è osservato anche che la Luna, quando nelle sue eclissi si occulta nell'ombra della Terra, non perde subito i suoi raggi calorifici, quando le son tolti quelli luminosi del Sole, ma conserva ancora per un pochino il suo proprio calore. Questo assorbire il calore solare che fa la superficie della Luna non deve meravigliare, quando si pensi che gli ardenti raggi del Sole, senza venir affievoliti da alcun involucro vaporoso, senza interruzione colpiscono per ben 14 giorni il medesimo punto della Luna. Questo è provato dalla sola osservazione dell'occhio, senza l'aiuto di cognizione alcuna sulla posizione ed i rapporti dei movimenti del Sole, della Terra e della Luna, che ora non possono ancora essere tratti in campo. Sulla Luna ogni punto ha, come la vista ci dice, luce solare durante 14 giorni, e notte per altrettanti.

Dalle osservazioni menzionate risulta che questa prolungata irradiazione può elevare la temperatura di un punto della superficie lunare da 200 a 300 gradi.

(*a*) Il primo a dimostrare l'esistenza del calore lunare fu l'italiano Macedonio Melloni, con ricerche istituite nel 1846 con delicatissime pile termo-elettriche. (Nota di O. Z. B.).

Quindi se durante la notte di 14 gradi, la superficie lunare è discesa fino alla bassa temperatura dello spazio cosmico, cioè di almeno —100 gradi (a), irradiando tutto il calore preventivamente ricevuto, questa deve pertanto durante il mezzo mese seguente salire almeno fino alla temperatura dell'acqua bollente. È assai difficile il dire, specialmente colla mancanza di un'atmosfera che meriti tal nome, come si comporti l'acqua sotto tali colossali oscillazioni di temperatura che presso di noi non trovano confronto. In ogni caso non si può comprendere, come il ghiaccio, se ad esso veramente fosse dovuta la più chiara colorazione delle cime dei monti, potrebbe tollerare l'intenso calore del lungo giorno. Però, se le quantità d'acqua ancora esistenti nei bassi fondi non sono notevoli, l'acqua potrebbe ancora in essi durante l'avvicendarsi del giorno e della notte, passare per i suoi tre stati d'aggregazione, senza che a noi avvenga di avvertire al riguardo cosa alcuna. Poichè, mancando l'aria, in certe circostanze l'acqua passa, senza formazione di nebbia, allo stato di gas trasparente, che passa per noi inavvertito: quando però la sua quantità non sia così ragguardevole da rivelarsi con variazioni nella rifrazione della luce.

Tutto ben considerato, circa la presenza o l'assenza dell'acqua in qualsivoglia stato sulla Luna, noi non sappiamo dire altro, se non che non si ha alcuna dimostrazione cui non si possa opporre obiezioni che l'acqua vi possa essere presente, ma sicuramente in quantità affatto minima allo stato liquido e gaseiforme. Se si tien conto anche dell'intensa irradiazione che la Luna riceve di calore solare, allora sembra ancora più sicuro, che anche il ghiaccio vi si possa trovare, ma in minima quantità, perchè se ve ne fossero grandi masse l'irradiazione lo condurrebbe agli altri stati di aggregazione, nei quali certamente si rivelerebbe.

Sulla Terra la presenza dell'acqua si manifesta anche a mezzo di una lunga serie di fenomeni, che anche alla distanza della Luna potrebbero essere bene osservati, ma non egualmente bene veduti su di essa: *i processi della vita vegetale ed animale*. L'alterno frondeggiare dei nostri boschi, la loro estensione variabile, il crescere e l'appassire delle erbe delle praterie, il comune movimento di grosse greggie, ed un gran numero di altre variazioni, che la natura vivente, indissolubilmente legata alla presenza dell'acqua, produce sulla Terra, e che possono in breve tempo mutare intieramente l'aspetto di estese contrade. Sulla Luna non si osserva nulla di simile, quando si faccia astrazione da deboli colorazioni in verde, che alcuni osservatori credettero di notare subito dopo il tramonto del Sole, nei luoghi corrispondenti, e che poco dopo scomparvero, come le nebbie leggiere delle quali già dicemmo. Perchè da quanto precede non rimane escluso che sulla Luna esistano ancora piccole quantità di aria e di acqua, così anche non sembra impossibile che quelle colorazioni abbiano la loro radice in deboli vegetazioni, le quali in ogni caso sono affatto secondarie, quando pure non si abbia da fare con errori d'osservazione.

Quale ultima e massima manifestazione della vita animale sulla Terra campeggia l'uomo intelligente, colle sue opere che di tanto lo superano per lo spazio che occupano e per la durata dell'esistenza. Molte di queste opere, i suoi campi

(a) I numeri di gradi di temperatura preceduti dal segno — (meno) sono sotto lo zero. Circa questa temperatura dello spazio cosmico, il traduttore fa le sue più ampie riserve. (Nota di O. Z. B.).

coltivati, le sue città, le sue costruzioni d'architettura che si slanciano verso il cielo, potrebbero benissimo coi nostri apparecchi ottici venire avvertiti sulla Luna come opere di un'attività intelligente. Una città come Berlino si vedrebbe benissimo, quale una macchia scura sul contorno più chiaro della pianura sabbiosa della Marca, ed avrebbe un diametro di 5 secondi d'arco; Urano e Nettuno i due pianeti più esterni del nostro sistema, che nei cannocchiali di media grandezza appaiono distintamente quali dischi, posseggono un diametro minore. A questo riguardo, la Luna non mostra traccia di sorta delle sospettate manifestazioni, per quanto anche i nostri predecessori abbiano cercato al riguardo. A dire il vero, il fantasioso Gruithuisen, che al principio del nostro secolo investigò con zelo appassionato la Luna per scoprirvi indizi della vita, credette di scoprirvi una quantità di configurazioni che egli riguardò come potenti opere di fortificazione, grandi strade, canali ed altro ancora, ma più tardi si accertò che tutte queste cose erano indubbiamente cose naturali. La Luna ci appare come un mondo estinto, completamente morto, come non può, secondo i concetti terrestri non essere, giacchè su di esso mancano le due condizioni indispensabili dell'esistenza, l'aria e l'acqua: vi mancano, od in ogni caso vi sono così scarse, da poter bastare appena alle più semplici forme di vita.

Per contro la Luna ci mostra come in uno specchio, come la nostra Terra apparisca ad un osservatore estraterrestre animata e mutabile. Già menzionammo prima *la luce cinerea*, che a noi invia la parte della nostra compagna non illuminata dal Sole, quando la sua fase è ancora molto piccola. Ma poichè allora la Terra, il Sole e la Luna sono in linea retta, la Terra che è dalla parte opposta al Sole, deve apparire intieramente illuminata ad un osservatore situato alla superficie della Luna: la Terra manda in queste circostanze una parte della luce che riceve dal Sole anche alla parte oscura della Luna, ed illumina così le sue notti, come essa illumina le nostre, quando si trova nella posizione corrispondente. Questa luce cenerognola, cambia la sua tinta e la sua chiarezza a seconda della costituzione della regione terrestre, che in quel momento è rivolta alla Luna. A questo riguardo si distinguono variazioni regolari ed accidentali. D'ordinario la luce terrestre sulla Luna è più debole, quando noi le rivolgiamo le nostre grandi superficie marine, più chiara, quando le rivolgiamo regioni chiare, come i deserti africani ed asiatici, o quando alla sua parte in notte stanno di fronte le pianure nevose della Siberia. Quest'ultimo caso si verifica segnatamente nelle ore mattutine dell'autunno a luna nuova (veduta da un punto dell'Europa), così a quel tempo per noi la luce cinerea è particolarmente rimarchevole. Per contro nelle ore della sera in primavera stanno principalmente di faccia alla Luna, delle zone terrestri oscure; ed a quell'epoca ben di rado si riuscirà a vedere direttamente la parte non illuminata vicino alla falce sottile.

Assieme a variazioni casuali e straordinarie della chiarezza di questa luce terrestre si sono anche avvertiti cambiamenti nelle tinte della sua colorazione. Essa apparve spesso cangiante dal grigio, osservato d'ordinario, all'azzurro, ed altre volte per contro al giallognolo, ed in qualche rarissimo caso la parte del disco lunare non direttamente illuminata si mostrò identica alla Luna eclissata, quale è rappresentata nella tavola " Eclisse parziale di Luna „ nella seconda sezione del nostro libro. A quell'epoca la Terra rivolge alla Luna la sua parte oscura, ma contempo-

raneamente il Sole che sta dietro la Terra manda alla Luna i suoi raggi attraverso all'atmosfera fatta rossa del colore dell'aurora e del tramonto. Anche questa luce rossa affumicata si presenta in ognuno di quei fenomeni variamente intensa, a seconda delle condizioni dell'atmosfera, che come si è detto sono tali da poter produrre le più svariate apparenze crepuscolari.

Aspettiamo ad addentrarci maggiormente nella speciale natura della Luna fino a quando ci saremo resi famigliari colle altre relazioni dei mondi fra di loro; giacchè solamente in questo molteplice scambio d'influenze e di rapporti potremo ben comprendere la forma, la vita, il compito di ogni singolo mondo: considerato isolatamente e di per sè, esso può essere assai poco, come ciascun essere nella nostra natura terrestre. Ma tutte le scambievoli azioni, che non sono rivelate dalla vista acuita a mezzo del telescopio, ed in particolare gli effetti della gravitazione universale, saranno esposti nella seconda sezione del nostro libro. Noi dobbiamo ora accontentarci di uno schizzo generale dell'immagine di un mondo, quale quello che come prima approssimazione si può acquistare colla sola vista.

2. Mercurio.

Se noi cerchiamo sulla vôlta celeste uno di quei punti lucenti, la cui luce, come quella della Luna, si dà a divedere come luce solare riflessa, dipenderà dal caso il farci trovare l'uno piuttosto che l'altro pianeta. Tuttavia, per mantenere l'ordine della nostra trattazione, noi ci occuperemo di questi astri fratelli della nostra Terra, in quella serie che è ordinata secondo le loro distanze dal Sole; riserbandoci di dare poi la dimostrazione della realtà del loro vero succedersi in quell'ordine.

Noi ci rivolgiamo così primieramente a Mercurio, il più prossimo al Sole, sul quale forse seguendo la ventura ci saremmo imbattuti per ultimo, giacchè questo pianeta si nasconde così ostinatamente nei raggi solari, che non vi sono molti astronomi di professione i quali possano vantarsi di averlo qualche volta veduto ad occhio nudo. Tuttavia esso irradia una luce brillante, che uguaglia quella delle stelle più lucide, se pur non quella della più lucida fra tutte le stelle del nostro cielo notturno. È noto, sebbene non intieramente accertato, che Copernico sul suo letto di morte si lagnava di non aver mai potuto vedere Mercurio.

Al pari degli altri pianeti, Mercurio muta di continuo la sua posizione rispetto al Sole ed alle altre stelle. Seguendolo attentamente si constata che ogni volta dopo circa 116 giorni ritorna alla stessa posizione rispetto al Sole ed anche al nostro orizzonte. Questo intervallo di tempo si chiama, come per la Luna, la durata *della rivoluzione sinodica*. Quindi si può far conto che 116 giorni dopo aver visto Mercurio si potrà ritrovarlo nella stessa direzione. Esso appare durante circa una settimana, $\frac{1}{2}$ ora dopo il tramonto del Sole sull'orizzonte occidentale, per tramontare una $\frac{1}{2}$ ora dopo. Esso si trova allora alla sua *elongazione orientale*, cioè ad

oriente del Sole quanto la sua orbita consente. Questa distanza oscilla fra 18° e 27°. Quindi ogni 116 giorni Mercurio è per 8 o 10 sere visibile ad occhio nudo durante una mezz'ora, quindi nell'anno circa 15 ore. Per poter quindi, per così dire, afferrare questo fuggevole fra tutti i pianeti, che gli antichi astrologhi paragonarono con l'argento vivo, bisogna in una di quelle rare occasioni poter disporre di una veduta intieramente sgombra ad occidente, e per di più che il cielo sia libero da nubi. Ma se per ventura si riesce a scorgerlo in una di tali circostanze, si resta meravigliati al vedere come scintilli brillante fra il rosso crepuscolare dell'orizzonte. Chi non conosce esattamente la posizione degli altri pianeti, lo scambierà certo con uno di essi, e non apprezzerà perciò la rara circostanza che gli si è rappresentata.

Fra due elongazioni orientali ve ne è però sempre una occidentale, nella quale il pianeta assume una simile favorevole posizione all'orizzonte e diviene visibile ad occhio nudo. Ma in questa circostanza esso precede il Sole nel suo cammino diurno sul cielo; esso tramonta quindi anche prima del Sole, e non può per conseguenza ordinariamente essere veduto di sera. Esso si mostra quindi solamente prima del levar del Sole.

L'astronomo armato di cannocchiale è in ciò più felice, esso può vedere l'astro anche di giorno. Altrimenti non sarebbe possibile l'istituire una qualsiasi osservazione proficua di Mercurio, giacchè quando esso può venire veduto ad occhio nudo si trova, come vedemmo, così presso all'orizzonte, che la luce deve percorrere attraverso agli agitati vapori dell'atmosfera una via troppo lunga perchè si possa, nelle ordinarie circostanze, disegnare ancora una utile immagine del pianeta. Noi vedremmo quindi sempre nel cannocchiale una macchia lucente che continuamente si contorce e deforma da tutte le parti, non dissimile da una lingua di fuoco, e che ad ogni modo non ci permetterebbe mai di risentire l'impressione di trovarci innanzi ad un corpo celeste permanente che descrive attraverso allo spazio celeste un'orbita prefissa, come quella del nostro proprio pianeta, la Terra.

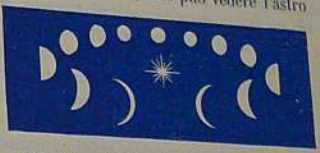


Fig. 59. — Fasi e relazioni di grandezza di Mercurio.

Ma i congegni meccanici del cannocchiale permettono di trovare anche sull'azzurro cielo del giorno tutti i corpi celesti più lucenti, la cui posizione rispetto a certi punti è nota. Mercurio, quindi, che si mantiene sempre vicino al Sole, può perciò essere osservato col cannocchiale ad un dipresso a tutte le altezze che il Sole raggiunge nella latitudine del luogo di osservazione. Ma con tutto ciò l'osservazione di Mercurio presenta difficoltà maggiori di quella degli altri pianeti più grossi, giacchè l'aria nella direzione del Sole, a causa del disuguale riscaldamento, tremola sempre più o meno, e perciò ben di rado consente di vedere nel cannocchiale un'immagine chiara e tranquilla.

Malgrado ciò noi riconosciamo subito che Mercurio presenta delle fasi, non altrimenti che la Luna, e che le cambia man mano che vien mutando di posizione rispetto al Sole. Ma contemporaneamente si muta anche molto considerevolmente la *grandezza* del pianeta. La figura 59 rappresenta i rapporti effettivi di esse. Mercurio dopo essere, durante parecchi giorni, scomparso anche per i migliori

cannocchiali, nei raggi solari, riappare primieramente ad Ovest del Sole, in forma di falce molto sottile, che come quella della Luna nelle corrispondenti circostanze, rivolge al Sole il suo orlo convesso: noi abbiamo innanzi a noi le fasi crescenti. Mentre crescono le fasi diminuisce il diametro del pianeta costantemente dalla punta di un corno a quella dell'altro, anche fin oltre il *primo quarto di Mercurio*, a partire dal quale diminuisce di nuovo la sua distanza dal Sole. Esso appare sempre interamente illuminato, finchè comincia di nuovo a scomparire nei raggi solari, ove, quando tutto il suo disco diviene visibile, esso ha un diametro che è circa la metà più piccolo di quello che aveva nella sua prima prossimità al Sole. D'ordinario si usa, come si sa, esprimere il diametro apparente degli astri in misure d'arco; una convenzione arbitraria come qualunque altra. Invece di dire, come si suole, Mercurio quando presenta una falce esilissima, sembra grosso 12″, e diminuisce colla sua completa illuminazione fino a 5″, si sarebbe potuto dire egualmente bene, che nell'osservazione esso si è mostrato grande quanto un disco di un centimetro di diametro veduto alla distanza di 410 metri, in un caso, e nell'altro, come il disco medesimo osservato a soli 170 metri di distanza.

Anche al più semplice osservatore delle vicende delle fasi e della grandezza di questo pianeta, le quali si ripetono sempre nelle medesime posizioni rispetto al Sole, non può rimanere dubbio alcuno, che esse non possono essere prodotte da un corpo oscuro di per sè che gira attorno al Sole e che viene da esso illuminato. Se gli astronomi alessandrini avessero potuto servirsi anche solo del più imperfetto fra i cannocchiali, non si sarebbe mai potuto fondare un sistema del mondo quale il tolemaico nel quale tutti i pianeti dovevano girare attorno alla Terra; tutt'al più avrebbe potuto sussistere una qualche possibilità per il sistema ticonico, che faceva girare tutti i pianeti attorno al Sole, e questo poi a sua volta, con tutto il suo seguito attorno alla Terra. La posizione relativa del Sole, della Terra e di Mercurio è assai bene rappresentata agli occhi, quando occasionalmente quest'ultimo si trova esattamente fra gli altri due astri, così che noi lo vediamo scorrere sul disco solare, in quello che vien detto *passaggio di mercurio sul Sole*. (Vedasi anche il capitolo VII della seconda sezione). Un tale avvenimento accadde il 10 novembre 1894 e si ripeterà il 4 novembre 1901: in essi si vede davanti al Sole un disco perfettamente nero di 12″ di diametro. Ma mai, quando il disco del pianeta era interamente illuminato ed il suo cammino era diretto precisamente sul disco solare, non si vide una corrispondente macchia nera scorrere su questo disco; in questa illuminazione Mercurio passa sempre *dietro* al Sole; nel primo caso esso è a noi più vicino del Sole, nel secondo di esso molto più lontano.

Dai dati sopra scritti sulle variazioni della grandezza apparente del pianeta, noi possiamo anche all'ingrosso acquistare qualche cognizione sulle distanze relative dei tre corpi celesti dei quali stiamo discorrendo. Partiamo dalla premessa, che dimostreremo in seguito, che la Terra e Mercurio si muovono attorno al Sole in orbite, che non differiscono essenzialmente dal cerchio, e chiamiamo r la distanza della Terra dal Sole, d quella di Mercurio da esso, allora in una *congiunzione inferiore*, cioè in un passaggio di Mercurio tra la Terra ed il Sole, la distanza del pianeta da noi è uguale ad $r - d$; in una congiuzione superiore per contro, cioè quando il Sole sta tra la Terra e Mercurio, egnale a $r + d$. Se si tratta solo dei rapporti, allora noi possiamo senz'altro valerci per il nostro calcolo dei numeri

dati sopra, 410 e 170 metri, che esprimono le distanze alle quali un disco del diametro di un centimetro è veduto della medesima grandezza di Mercurio, nelle sue due posizioni estreme rispetto a noi. Noi troviamo così che deve essere

$$d = \frac{410 - 170}{410 + 170} = 0{,}4.$$

Con ciò però noi, dalla grandezza variabile di Mercurio, abbiamo solo ricavato, che la distanza di questo pianeta dal grande astro del giorno, vale circa $^2/_5$ della nostra. Se noi arriviamo a sapere che quest'ultima è di 149.500.000 di chilometri, allora noi otteniamo per quella di Mercurio 59.800.000 chilometri circa. Questi numeri abbastanza grossolani ci basteranno per ora, per fornire il necessario punto di partenza alle nostre considerazioni sui rapporti fisici di questo e degli altri membri del nostro sistema planetario. Dai numeri dati noi possiamo anche dedurre qualche cosa circa la vera grossezza di Mercurio. Noi sappiamo che quando il pianeta nella sua congiunzione inferiore si trova a noi vicino quanto può esserlo, la sua grandezza apparente uguaglia quella di un disco di un centimetro di diametro visto alla distanza di 170 metri. Noi ricavammo inoltre che esso dista da noi di 89.700.000 — 149.500.000 — 59.800.000 di chilometri. Dividendo questo numero per 170 metri, ridotti in centimetri, cioè per 17000, avremo quante volte il diametro del pianeta supera quello del disco che alla distanza di 170 metri è visto sotto uguale grandezza apparente. In cifre rotonde (trascurando le centinaia di chilometri) il risultato è 5000 km., mentre dividendo quel numero per 170 metri ridotti in chilometri, cioè per 0,17, si ha il rapporto tra la distanza reale tra la Terra e Mercurio, e quella fra il disco di un centimetro, ed il punto dal quale lo guardammo nelle considerazioni precedenti. Si vede che questo rapporto è in cifre rotonde 500.000.000, che è pure il rapporto fra la grandezza del pianeta e quella del disco, espressa in centimetri. Con osservazioni più esatte si è trovato per il diametro di Mercurio 4800 km. Poichè la Terra misura un diametro 12700 km. così il pianeta più vicino al Sole ha un diametro poco maggiore di un terzo di quello terrestre; la sua superficie è sette volte più piccola, per cui l'Europa, l'Asia e l'Africa non capirebbero intieramente su Mercurio.

Si comprende facilmente che sopra un piccolo disco che anche nella posizione più favorevole, e con un ingrandimento di trecento volte, non appare nel cannocchiale che come un pezzo da cinque franchi d'oro, veduto alla distanza di 1 m., non si possano scoprire molti dettagli. La difficoltà è ancora accresciuta da ciò che il pianeta, appunto quando è più vicino a noi, ci volge la sua parte in notte, sulla quale assolutamente nulla si può vedere, ed inoltre ancora dal fatto che quando Mercurio ci mostra il suo disco interamente illuminato, esso si trova apparentemente così vicino al Sole che dalla pienezza dei raggi di esso sono affatto cancellate le gradazioni di luce, per mezzo delle quali l'etere vibrante potrebbe comunicarci qualche cognizione sulla costituzione di questo mondo che sta così da presso al fuoco centrale: si è perciò che i telegrammi luminosi che ci sono spediti di lassù giungono ai nostri istrumenti decifratori in uno stato affatto illeggibile. Tutto ciò che vi si può leggere è quanto segue.

Per prima cosa dobbiamo tirare una riga sopra quasi tutte le più antiche osservazioni istituite con istrumenti imperfetti, le quali asserivano tutte l'esistenza di rare apparenze su Mercurio, come ad esempio un anello che lo cingeva strettamente,

e che fu ritenuto come atmosfera, e lo smussamento del corno meridionale della fase, che si cercò di spiegare con alte montagne, superanti quasi del doppio i nostri più elevati giganti dei monti; due apparenze che non furono più vedute nei migliori telescopi dei tempi moderni. In modo generale, Schiaparelli, il nome del quale noi dobbiamo scrivere ora e poi, spesso e volentieri, come quello di uno dei più eccellenti osservatori, ha constatato che la parte meridionale del pianeta riflette meno luce solare della settentrionale, per il che, nei deboli cannocchiali, una parte della sottile falce meridionale può benissimo svanire.

In confronto degli altri pianeti, Mercurio ci rinvia meno luce, esso assorbe all'incirca quanto la Luna dei raggi solari che riceve, dal che Zöllner conchiuse con qualche probabilità che questo pianeta sia, al pari della Luna, privo di atmosfera, poichè altrimenti le sue nubi rifletterebbero più luce di quella che corrisponde ai risultati dell'osservazione. Ma la questione dell'atmosfera di Mercurio non è per nulla ancora decisa, e neppure lo spettroscopio le dà chiara risposta. Lo spettro di Mercurio contiene solamente 12 linee di Fraunhofer, le quali siano abbastanza distinte, per poter venir fissate esattamente a mezzo della loro posizione; esse coincidono colle corrispondenti nello spettro solare. Le così dette *linee telluriche*, ossiano striscie che provengono dall'alterazione della luce solare nella nostra atmosfera, si possono egualmente vedere. Naturalmente queste striscie appariscono negli spettri di tutti i corpi celesti, giacchè la loro luce deve di necessità attraversare sempre il nostro involucro aereo, prima di giungere allo spettroscopio nel quale è analizzata. Ma siccome il cammino da percorrere attraverso all'involucro gasoso è tanto più breve, quanto più è elevato sull'orizzonte il corpo celeste che si osserva, così le striscie telluriche o " *bande atmosferiche* " si presentano molto pronunziate all'orizzonte, mentre allo zenit, nelle circostanze ordinarie, non si vedono quasi punto. Ma lo spettro di Mercurio si può solo osservare ad altezze nelle quali le linee telluriche si mostrano sempre. Se Mercurio avesse un'atmosfera di composizione chimica quasi uguale a quella della nostra, le bande dovrebbero divenire più scure quando si dirigesse lo spettroscopio puntato prima alla Luna, che per caso si trovasse alla stessa altezza, su Mercurio. Sembra infatti che un debolissimo indizio di un tale rinforzo si verifichi in realtà. Ma con sicurezza lo spettroscopio dice solamente che in ogni caso, se Mercurio possiede una notevole atmosfera, la sua composizione non può essere molto differente da quella della nostra, giacchè altrimenti, nello spettro di Mercurio, dovrebbero apparire nuove bande di assorbimento.

Già un secolo fa Schröter, e dopo lui altri osservatori, videro sopra Mercurio delle striscie e delle macchie, che non sembravano cambiare la loro mutua posizione, e quindi appartengono presumibilmente alla superficie del pianeta. La figura 60 dà queste particolarità, quali potè vedere poco per volta l'occhio acuto di Schiaparelli: la carta fu pubblicata nel 1890. Come si comprende di leggieri, sul disegno le differenze di luminosità sono fortemente esagerate, come deve avvenire per la massima parte dei disegni astronomici. Se si potessero riprodurre anche in immagini vere al naturale le relative gradazioni di luce, l'occhio inesperto del lettore vi vedrebbe nulla o quasi nulla, come avviene quasi sempre nel cannocchiale.

Sarebbe molto prematuro il voler dedurre da queste linee mal definite una qualsiasi conclusione sopra la costituzione del pianeta. Da questi incerti dettagli

due sole cose si possono ricavare con qualche probabilità a mezzo di perseveranti osservazioni: sull'atmosfera del pianeta e sulla sua velocità qualsiasi di rotazione, dato che esso ruoti, come la Terra, attorno al suo asse. Se cioè le macchie rimangono costantemente visibili, un'atmosfera, nel senso in cui noi l'intendiamo, diviene improbabile, perchè se esistesse, le nubi dovrebbero talvolta intercettare la veduta delle formazioni fisse della superficie. In causa dell'incertezza con cui d'ordinario si vedono queste macchie, non si può sfortunatamente dire nulla di certo sulla loro permanenza, però nessun dato d'osservazione milita contro di essa. Con ciò è accresciuta la probabilità che Mercurio non sia dotato di atmosfera.

Quindi anche per questo rispetto Mercurio sarebbe simile alla nostra Luna; a ciò s'aggiunge ancora un'altra cosa notevole che riguarda la rotazione intorno al suo asse, la durata cioè della rotazione del pianeta. Le antiche osservazioni provarono che le macchie si mostrano da un giorno all'altro sempre nella stessa posizione rispetto all'orlo del disco, relativamente alla forma della fase. Ora, tenendo presente quanto precede, si badi che le osservazioni di Mercurio coi cannocchiali deboli e di cattiva definizione, quali quelli dei quali potevano disporre gli antichi osservatori, dovevano durante un medesimo periodo di visibilità istituirsi sempre alla medesima ora del giorno, cioè all'ora del tramonto, perchè di giorno la luce solare cancella tutti i particolari, mentre quanto più diminuisce questo disturbo, tanto più cresce quello che proviene dalla crescente vicinanza del pianeta all'orizzonte. Fra le due si ha solo un breve intervallo di tempo, che con qualche precauzione può venire utilizzato con successo. Ora poichè a quest'epoca le macchie di Mercurio si presentavano sempre sotto il medesimo aspetto, così senza prevenzione divennero possibili due spiegazioni di questo fatto, confermato anche più tardi. L'una vorrebbe che Mercurio ruoti sul proprio asse tanto rapidamente quanto la nostra Terra; manifestamente, secondo questa opinione, dopo ventiquattro ore la posizione rispettiva delle parti superficiali dei due pianeti diverrebbe sempre la medesima. La seconda possibilità è quella, che Mercurio nell'intervallo di tempo non abbia punto girato. Teoricamente è assai interessante l'avvertire che fino a qualche tempo innanzi non si pensò punto alla possibilità della seconda spiegazione, e che quindi si era generalmente convinti che la durata della rotazione di Mercurio, cioè la lunghezza del suo giorno, coincidesse abbastanza esattamente con quella terrestre. Questa persuasione era rinforzata dalla constatazione del fatto che anche gli altri pianeti ruotano sopra loro stessi in simili ed anche in molto più brevi intervalli di tempo. Schiaparelli per il primo riuscì ad esaminare le striscie di Mercurio a diverse epoche del giorno, durante il medesimo periodo di visibilità, dal che gli venne fatto di scoprire che anche allora il pianeta mostra sempre lo

Fig. 60. — Mercurio, disegnato da Schiaparelli in Milano.

stesso disegno: esso quindi, in complesso, non si era mosso. Il paragone di tutte le osservazioni istituite per questo riguardo, condusse finalmente alla conoscenza, recentemente anche confermata da Lowell, che Mercurio volge costantemente al Sole la medesima parte, non altrimenti del come fa la Luna rispetto alla nostra Terra. Mentre però a noi abitatori della Terra rimane invisibile solo una metà della Luna, ad altri osservatori nello spazio è concessa man mano la visione di tutta la superficie del nostro satellite, e per contro la metà di Mercurio opposta al Sole deve rimanere in eterno invisibile a tutti, perchè immersa in tenebre perenni.

Rimandiamo all'esposizione delle considerazioni generali sui rapporti della vita sui corpi celesti la pittura ideale delle condizioni speciali di un mondo, nel quale una metà è costantemente illuminata dai cocenti raggi del vicino Sole, mentre l'altra non ne è mai tocca, cioè di un mondo che non conosce la vicenda del giorno e della notte.

3. Venere.

La bella stella della sera o del mattino è nota a tutti, ed i popoli di tutti i tempi e di tutti i paesi l'hanno celebrata in versi. E veramente, fra le meraviglie che costantemente il cielo ci mostra, non ve ne è alcuna che possa così mirabilmente incatenare il nostro occhio, come questo splendore di luce celeste che brilla davanti a noi, nella quiete e nella purezza ultraterrena. La bellezza di questa stella, che fu consacrata a Venere, rimane sempre preponderante, non come il Sole insostenibile dal nostro occhio, non come la Luna manifestazione di tutti i giorni, non come taluni degli altri pianeti frammisti alla notturna schiera delle altre stelle.

Venere è talvolta la più lucente fra tutte le stelle del firmamento, e può in date circostanze venire scorta ad occhio nudo di pieno giorno. Il suo splendore è tuttavia soggetto a forti cambiamenti, giacchè esso, come già imparammo per Mercurio, dipende dalla sua posizione variabile rispetto al Sole. Poichè la durata della rivoluzione sinodica di Venere è di 583 giorni e mezzo, così lo svolgersi del suo massimo splendore, come stella della sera, si ripete ogni anno e sette mesi circa. Ma questo momento non coincide con quello della massima distanza apparente dal Sole. Ciò non accade neppure per Mercurio, per il quale in causa del rapido movimento questa differenza non era notevole. Potremo comprendere meglio queste condizioni, tenendo dietro a Venere col cannocchiale lungo un'intiera sua rivoluzione sinodica.

Prima di tutto essa mostra la stessa vicenda di fasi di Mercurio, da *Venere-piena*, quando nella *congiunzione superiore*, sta al di là del Sole, fino a *Venere-nuova*, nella *congiunzione inferiore*. Quando al 2 maggio 1893 Venere trovavasi in congiunzione superiore, il suo disco pienamente visibile misurava in cifre tonde 10". Mentre si andava sempre più allontanando dal Sole verso Est, il diametro del disco cresceva lentamente, mentre la fase diminuiva. Venere si mostrava allora

poco per volta all'occhio nudo, come stella della sera, mentre il suo splendore cresceva costantemente. La distanza apparente dal Sole andò aumentando sempre fino al 6 dicembre dell'anno indicato, e raggiunse in quel giorno 47 gradi. La fase corrispondeva al primo quarto, ed il diametro importava 25″, era quindi cresciuto dalla congiunzione superiore di circa una volta e mezzo. Mentre poi il pianeta s'accostava di nuovo al Sole, esso prendeva ognor più la forma di una falce sottile, ma tutto il diametro della falce s'allargava così, che tutta la superficie risplendente diventava ancora più estesa, per toccare il suo massimo all'11 gennaio 1894; allora solamente Venere brillò del suo massimo splendore. Il diametro della falce toccò in quel giorno 40″. Sebbene esso crescesse ancora sempre rapidamente, tuttavia la falce divenne ancora estremamente sottile, ed oltre a ciò il pianeta si accostava sempre anche al Sole e tanto e tanto che la linea in luce di forma semi-circolare oltremodo esile, scomparve nei suoi raggi, il diametro del disco abbracciato era allora di 61″. La congiunzione inferiore avvenne il 16 febbraio. Quindi si ripetè in senso inverso la descritta serie di fasi: Venere apparve all'Ovest del Sole e spiegò come stella del mattino il suo massimo splendore, il 23 marzo; essa era allora alla sua massima distanza occidentale, ed aveva la forma dell'ultimo quarto il 27 aprile, e passò di nuovo alla sua congiunzione superiore col Sole il 30 novembre. Tutto il disco aveva allora pure il diametro di 10″, che aveva avuto l'anno precedente. Le relazioni di grandezza di Venere nei menzionati momenti della sua rivoluzione sinodica sono riprodotte nella figura 61. L'ultima rivoluzione abbracciò questa volta solo 577 giorni, cioè una durata più breve di quella prima data per essa, la quale deve però sempre riguardarsi solamente come un valore medio. Discuteremo più tardi la provenienza di tali disuguaglianze del movimento.

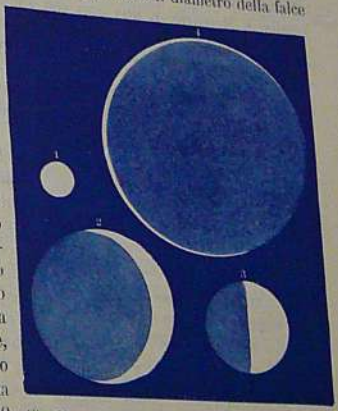


Fig. 61. — Fasi e rapporti di grandezza di Venere: 1) in congiunzione superiore; 2) al massimo splendore; 3) al primo quarto; 4) poco dopo la congiunzione inferiore, con corna molto prolungate, disegnate da Barnard nel 1890.

Dai fenomeni descritti possiamo dedurre che al pari di Mercurio, Venere è un corpo oscuro *di forma rotonda*, illuminato dal Sole, attorno al quale gira, e che la sua distanza dal Sole è in cifre rotonde $^{2}/_{3}$ della nostra, il che è quanto dire 108 milioni di chilometri. Il pianeta può accostarsi alla Terra fino a 40 milioni di chilometri e scostarsene fino a 257 milioni di chilometri. Il diametro reale di Venere è di km. 12600, così che il mondo di Venere è quasi esattamente grosso come il nostro. La minima distanza di Venere dalla Terra, sopra riferita, supera quella della Luna di circa il centuplo; tuttavia noi vedremo che, eccettuata evidentemente la Luna, nessun altro corpo celeste permanente non può mai accostarsi

maggiormente a noi. Dopo la Luna pertanto, Venere sarebbe il corpo celeste situato per noi nelle più favorevoli condizioni per l'osservazione, quando questa non incontrasse le medesime difficoltà di quella di Mercurio: quando essa ci è più vicina, ci mostra la sua parte in notte, e quanto più essa illumina il suo disco, tanto più si accosta al Sole, e deve quindi venire osservata durante il giorno. In quelle posizioni favorevoli relativamente alla sua situazione sul nostro orizzonte, nelle quali essa può essere osservata fin nel crepuscolo, essa mostra illuminata appena la metà del suo disco apparente. In causa di queste difficoltà d'osservazione la natura di questo pianeta nostro vicino ci è appena poco meglio nota di quella di Mercurio. È una cosa che suona stranamente quella che il velo onde sono coperti i segreti del cielo e della natura sia intessuto non solo di oscurità, ma che molte scoperte ci siano vietate da un avvolgimento di luce impenetrabile. Tutto ciò che supera la misura umana, verso l'alto o verso il basso, non oltrepassa più la soglia della nostra conoscenza.

Fig. 62. — Uscita di Venere dal disco solare, nel passaggio di Venere dell'anno 1882, secondo Vogel.

Anche la stessa *albedo* di Venere è relativamente assai grande: essa, benché più lontana dal Sole di Mercurio, riflette molta più luce solare di questo; se per caso si riesce una volta ad avere nel cannocchiale i due pianeti, si resta meravigliati dell'aspetto pallido di Mercurio rispetto a quello bianco scintillante di Venere. Da ciò si conchiuse da gran tempo che Venere è costantemente coperta da un denso strato di nubi. Un pianeta o la Terra devono manifestamente irradiare verso lo spazio celeste tanta maggior luce quanta più ne tolgono le nubi che intercettano ad esso od a noi la vista del cielo.

Quindi Venere dovrebbe anche possedere una ragguardevole atmosfera, ciò che in realtà si può dedurre anche da diversi altri risultati d'osservazione e con grandissima probabilità. Già alcuni antichi osservatori avevano a questo riguardo avvertito casualmente che le corna di Venere, segnatamente quando essa appare a guisa di falce molto sottile, si prolungano d'assai oltre un semicerchio, come si vede chiaramente nella figura 61, che fu eseguita a mezzo di un refrattore di dodici pollici, da Barnard all'Osservatorio Lick, poco prima e subito dopo la congiunzione inferiore del pianeta nel dicembre 1890. Un tale prolungamento si può solo spiegare a mezzo della supposizione di un'atmosfera, nella quale si verificano, come presso di noi, forti fenomeni crepuscolari. A cagione della rifrazione nell'atmosfera la luce solare viene addotta così lontano sulla sfera di Venere, che una posizione della parte in notte a noi rivolta viene illuminata sufficientemente così, da divenire visibile. Qui pure, per gli abitatori di Venere è la zona del crepuscolo, nella quale la luce crepuscolare si propaga lentamente sull'ombra della notte. Anche la circostanza che la linea del terminatore della falce di Venere, quando essa è assai cresciuta, non si presenta così nettamente definita come sulla Luna, ma si verifica invece affatto gradatamente una diminuzione di luce verso la parte oscura, ripete la sua esistenza dalla stessa cagione. In occasione dei passaggi

di Venere davanti al disco solare, fenomeni d'altronde molto rari, e che offrono speciali vantaggi per la misura della distanza del Sole, si potè pochissimo prima del suo ingresso vedere il pianeta affatto vicino al Sole, unicamente in causa di questa luce protratta, quando esso si staccava dal fondo chiaro del cielo; a quell'epoca il cerchio del crepuscolo si chiuse completamente attorno al pianeta. La nostra figura 62 dà una rappresentazione di questo fenomeno, quale fu disegnato da Vogel in Potsdam il 6 dicembre 1882. Watson, giovandosi dei dati raccolti durante i due ultimi passaggi di Venere del 1874 e del 1882, ha cercato di dedurre l'altezza dell'atmosfera di Venere, e la trovò, almeno fin dove lo permettono i suoi effetti più grossolani, ad un dipresso quale quella della nostra, cioè di circa 88 km.

Lo spettro di Venere offre un'altra conferma dell'esistenza di un'atmosfera del pianeta. Innanzi tutto si presentano in tutta la loro pienezza e chiarezza le linee solari, naturalmente coincidenti esattamente in posizione con quelle dello spettro solare. Scheiner potè constatare ciò, ad esempio per 300 linee, che egli trovò nello spettro di Venere solamente fra le linee F ed H di Fraunhofer. Venere a cagione della grande chiarezza della sua luce può essere studiato a grandi altezze in cielo, dove l'atmosfera terrestre non produce ancora linee telluriche nello spettro. Quindi le nostre conclusioni circa quelle linee non vanno per Venere soggette a quelle difficoltà che incontrammo per Mercurio. Senza dubbio anche a quelle altezze Venere dà a divedere linee telluriche, come trovarono Secchi e Vogel, ma esse rimangono assai deboli. Noi dobbiamo da ciò dedurre la conseguenza, che quella luce solare che viene inviata a noi dalla riflessione, e che giunge allo spettroscopio che l'analizza, penetra solo assai poco addentro all'atmosfera di Venere. La nostra supposizione che Venere sia avviluppata da uno strato di dense nubi, è completamente d'accordo con questi fatti dello spettroscopio. Le linee telluriche riconosciute resero poi segnatamente probabile la presenza del vapore d'acqua nell'atmosfera di Venere.

In una qualche relazione con questa atmosfera deve pur trovarsi una rara apparenza, che si verifica solo occasionalmente sulla parte in notte di Venere. Sopra essa talvolta si stende e diviene poi notevolmente visibile una luminosità scialba, azzurrognola, la quale ci permette di scorgere tutta la parte oscura di Venere accanto alla falce lucida, similmente a quanto avviene a Luna nuova per il nostro compagno. Ma mentre noi, per la Luna, troviamo subito la spiegazione di quel fatto nella sua illuminazione a mezzo della Terra, con Venere una tale spiegazione non è più ammessibile. La luce della Terra non giunge così avanti nello spazio da poter ancora illuminare Venere, la quale poi non ha alcun satellite; almeno quello che gli astronomi dei secoli diciassettesimo e diciottesimo credettero d'aver veduto, non fu mai di poi scoperto di nuovo. Questa luce fosforescente fu vista per la prima volta, come già si disse, da Derham nel 1714. Essa si ripresentò negli anni 1721, 1726, 1759 e così via ma sempre ad intervalli irregolari, e scomparve negli intervalli di tempo compresi fra quelle epoche. Weinecke, uno dei migliori osservatori della metà del nostro secolo, cercò spesso inutilmente in sessant'anni questa misteriosa parvenza, finchè gli riuscì di vederla repentinamente ma ben distintamente il 25 settembre 1871. Ultimamente sembra essere stata veduta nell'autunno del 1877 da Franz e Lamp. Non appena d'ordinario la luce si mostra, essa permane durante qualche tempo, ed è avvertita contemporaneamente da parecchi osservatori. Accadde poi anche, che mentre

un osservatore disegnava l'apparizione bene distintamente, nel tempo medesimo, un altro non in possesso di mezzi ottici così buoni, non poteva scoprirne traccia. Tali contradizioni si spiegano spesso con una scelta di ingrandimento o di apertura del cannocchiale non appropriata al caso particolare. Ma poichè nelle epoche corrispondenti la parte oscura di Venere nelle vicinanze del Sole si distacca sempre dal cielo chiaro, così si tratta di una debole differenza di vibrazioni luminose, che giungono a noi più dalla direzione nella quale si trova Venere, che non dalle circostanti regioni del fondo azzurro del cielo. Con un ingrandimento troppo piccolo, quest'ultimo evidentemente soperchierà di troppo il piccolo disco per permettere di riconoscere ancora la sua fioca luce; con un ingrandimento troppo forte, si può domandare se tutti gli atomi vibranti della luce, che pervengono da ogni punto della parte oscura ingrandita, non debbano diffondere la loro azione sopra una superficie della retina troppo estesa, perchè la differenza residua possa ancora varcare la soglia della nostra facoltà di percezione.

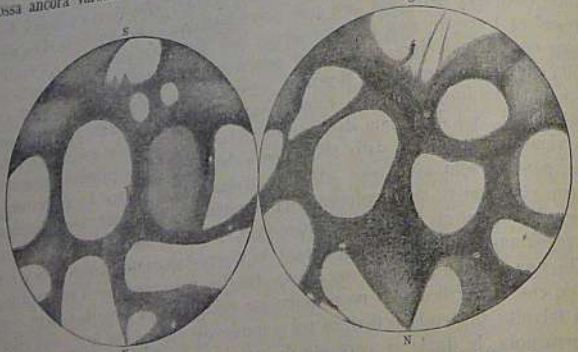


Fig. 63. — Carta di Venere, secondo le osservazioni di L. Niesten in Bruxelles, eseguite negli anni 1881-1890.

La vera causa di questa notevole parvenza è rimasta finora un mistero. Noi possiamo solamente congetturare che possa essere qualche cosa di simile alle nostre aurore boreali. Queste presumibilmente sono prodotte nelle alte regioni della nostra atmosfera dall'eccitamento elettrico dell'aria rarefatta. Quest'eccitamento assai probabilmente è in qualche modo emanato, o per lo meno favorito, dall'azione a distanza del Sole. Perciò noi vediamo le aurore boreali essere presso di noi più frequenti allora quando aumenta l'attività solare. Ora, poichè Venere è ancora più vicina al Sole causa dell'eccitazione, così l'apparire su di essa di aurore boreali non dovrebbe meravigliare, quando ci sia concesso di presupporre altri analoghi rapporti col nostro pianeta. Quindi la luce fosforescente dovrebbe venire osservata contemporaneamente alle aurore boreali, ciò che appunto accadde in qualche caso, ad esempio nell'anno 1871. Negli altri casi non si avverò una simile concordanza.

Il pianeta che ripete il suo nome da Venere, la regina della bellezza, lo merita tuttavia molto poco, giacchè tiene costantemente il suo corpo avvolto da un fitto

velo, che rende difficile lo studio della sua costituzione. Spesso, durante anni, sembra che mai smetta quel velo; ad altre epoche invece l'atmosfera di Venere si rischiara durevolmente, ed allora si vedono su di essa, ma sempre ancora mal definite, delle macchie, le quali sembrano conservare la loro forma e la loro posizione relativa, per cui probabilmente appartengono alla superficie del pianeta. In circostanze favorevoli, queste macchie sono visibili anche in cannocchiali affatto deboli, come attestano le osservazioni di Fontana in Napoli (intorno al 1650) e di Bianchini. Quest'ultimo nel 1726 e 1727 in Roma, col suo cannocchiale di gigantesca lunghezza (66 piedi, pari a metri 20 circa) ma di soli 2 pollici e mezzo di apertura (centimetri 6 circa), vide sopra Venere delle grandi macchie tonde, che a lui sembrarono all'aspetto quasi analoghe a quelle che vediamo guardando la Luna ad occhio nudo. Bianchini ritenne quelle macchie per mari, che egli vide in parte collegati fra loro da canali. Queste osservazioni trovarono piena conferma in principio, verso il 1840 a mezzo di De Vico in Roma, e quindi ai tempi nostri a mezzo di Niesten in Bruxelles (1881-1890) e segnatamente a mezzo di Trouvelot in Meudon presso Parigi, così che non si può più neppure dubitare dell'esistenza di macchie pressochè invariabili sulla superficie di Venere. La figura precedente, presenta una carta di Venere sulla quale Niesten ha raccolto tutte le sue osservazioni.

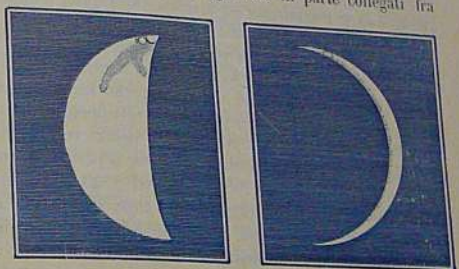


Fig. 64. — Macchie chiare al polo Sud di Venere, secondo Schiaparelli.

Speciale attenzione attrassero sempre le corna di Venere, le quali vanno talvolta soggette a variazioni tanto di chiarezza quanto di forma. Alcuni osservatori le videro, particolarmente le parti meridionali e settentrionali del pianeta, più chiare della sua restante superficie (vedi fig. 64). Ciò è notevole, perchè sulla Terra, se la si potesse guardare dalla distanza di Venere, si vedrebbero simili macchie al Nord ed al Sud, cioè ai suoi poli. Oltre queste maggiori macchie bianche, se ne osservano delle altre minori, ben delimitate, presso al polo Sud di Venere; e si avverta che coll'appellativo di polo noi non intendiamo dir altro, se non che si tratta di una parte della superficie situata al suo limite meridionale, o rispettivamente a quella settentrionale. Le macchie chiare sono circondate da parti particolarmente oscure. Trouvelot vide talvolta come esse si scindano in esigui punti separati, il che diviene probabile, perchè esse sono state vedute da osservatori prima di lui sempre nella stessa posizione. Egli le riguarda come alte montagne nevose, che sporgono sempre fuori dello strato di nubi delle regioni polari.

Coll'osservazione delle macchie, come già ebbimo occasione di vedere per Mercurio, è strettamente connessa la questione della velocità di rotazione del pianeta. Ora, poichè queste macchie sono così di rado visibili distintamente, non recherà

meraviglia che anche in questo senso noi c'imbattiamo in difficoltà simili a quelle incontrate per il pianeta più prossimo al Sole; anzi per Venere la questione è ancora meno vicina ad una soddisfacente soluzione. I primi osservatori ritennero la durata della sua rotazione quasi uguale a quella della Terra; Bianchini per centro dalle sue osservazioni conchiuse ad una durata di rotazione di 24 giorni ed 8 ore. Altri ritornarono di nuovo ad un periodo di rotazione di circa 24 ore, finchè in una serie di memorie che Schiaparelli pubblicò su questo argomento nel 1890 e di nuovo recentemente, questo prudentissimo e profondo ricercatore emise la persuasione che anche per Venere abbiano preponderato errori simili a quelli che ritardarono la scoperta della vera rotazione di Mercurio, e che anch'essa si muova lentamente intorno al suo asse, in un tempo uguale a quello che essa impiega a compiere la sua rivoluzione attorno al Sole, cioè circa 224 giorni. Ciò è comprovato da macchie che furono identificate sui vecchi disegni fatti da Gruithuisen nell'anno 1813, e vedute da Vogel in Bothkamp nel 1871, e di recente da Brenner; anche ulteriori osservazioni di Perrotin in Nizza e di Holden all'Osservatorio Lick, sembrano assodare quella convinzione. Ma sulla sua giustezza sorsero anche dei dubbi, che furono segnatamente sostenuti da Niesten e dal Trouvelot. Quest'ultimo, coll'appoggio di un gran numero di sue constatazioni (tra il 1876 ed il 1891 egli non raccolse meno di 744 osservazioni e 295 disegni), crede di poter dimostrare che il periodo di rotazione di Venere possa essere solo poco differente da 24 ore. Nel 1893, Wislicenus ha raccolto accuratamente e sottoposto ad un esame critico tutto il materiale esistente, e fu condotto a risultato uguale a quello di Trouvelot. Non possiamo quindi ancora riguardare come sciolta la questione della rotazione di Venere.

Ai molti misteri, relativi direttamente a questo pianeta, nostro più prossimo vicino, si aggiunge ancora quello del satellite di Venere. Un certo numero di osservatori, alcuni dei quali assai esperti conoscitori del cielo, sebbene ancora di recente muniti di cannocchiali assai imperfetti, videro occasionalmente tra il 1645 ed il 1768 una piccola luna vicino a Venere, avente come questa la forma di falce. Ma da quell'epoca non se ne potè rintracciare il benchè minimo indizio. Di più Schenten in Krefeld pretende di aver tenuto dietro durante tre ore a quella luna in occasione del passaggio di Venere davanti al Sole il 6 luglio 1761. Quattordici anni più tardi, quando già si cercavano osservazioni di quell'oggetto, che allora cominciava a venire discusso, egli scriveva al cosmografo Lambert: " Ciò che noi durante queste tre ore vedemmo nel Sole, non poteva essere altro che il satellite. Esso mi apparve così nero, tondo e distinto come Venere, ma molto più piccolo, circa un quarto di essa. Esso non rassomigliava punto alle macchie solari, da me molte volte vedute. Anche il suo corso concordava con quello di Venere, del quale era però alquanto più rapido ". Si deve anche dare molto peso all'osservazione di Short, che fino alla metà del secolo precedente era ritenuto come il più valente ottico dei suoi tempi, ed al quale quindi a mala pena puossi attribuire un falso uso del suo cannocchiale, e meno ancora di essersi lasciato illudere da immagini riflesse. Short alle 5 del mattino del 4 novembre 1740 trovò il satellite di Venere, distante dal pianeta di 10′ ed $^1/_3$, della stessa fase di esso, ma ridotto ad un terzo. Nell'indicato intervallo di tempo, si hanno in complesso 33 osservazioni. In una minuta revisione di esse, Stroobant in Bruxelles trovò che in 19 casi si poteva

dimostrare lo scambio con stelle fisse, nella vicinanza delle quali Venere era passata; altri non potevano venire riguardati comme abbastanza accertati. Rimasero così solamente due o tre casi, che sono da riguardarsi come non chiariti. Però è su ciò da avvertire, che anche nei cannocchiali del giorno d'oggi, nelle vicinanze di Venere, a cagione della sua grande luminosità furono osservate occasionalmente delle strane apparenze, le quali senza dubbio provengono da illusioni ottiche, ma che tuttavia non sono così presto spiegabili circa la loro provenienza. Beer e Mädler raccontano di tali false immagini, le quali tenendo conto di tutte le circostanze, non potevano essere prodotte nel cannocchiale. Poichè Venere è, dopo il Sole e la Luna, il più lucido oggetto celeste, sarebbe ben anche possibile, che essa potesse produrre talune apparizioni atmosferiche luminose, paragonabili in qualche modo ai parelii (falsi soli). Da tali fenomeni potrebbe benissimo provenire la leggenda del satellite di Venere, la quale fu poi anche costrutta a mezzo di altri errori. Ad ogni modo è certo che l'osservazione moderna non poté rintracciare un corpo celeste permanente delle dimensioni altra volta attribuite al satellite di Venere. Un satellite di Venere non esiste oggi certamente più, e conseguentemente non esistette mai, quando non si voglia credere, che nel frattempo abbia avuto luogo una violenza inspiegabile affatto colle nostre conoscenze astronomiche, la quale abbia fatto scomparire, senza che noi ce ne avvedessimo, dalla nostra più prossima vicinanza un corpo della grossezza della nostra Luna.

Ciò che fu detto è pressochè tutto quello che noi sappiamo intorno all'astro più lucente di tutto il firmamento. È pur duopo confessare che è molto poco.

4. Marte.

Molto meglio di Venere conosciamo Marte dal rosso splendore, che può prendere qualsiasi posizione rispetto al Sole, e quindi può essere visto anche nel cielo notturno. A talune epoche Marte si trova in *opposizione* al Sole, vale a dire gli è diametralmente opposto, ed è visibile a Sud, quando all'ora di mezzanotte il Sole è sotto l'orizzonte a Nord. Fra due tali opposizioni intercedono in media due anni e 49 giorni; questa è la durata della sua *rivoluzione sinodica*.

Durante l'opposizione Marte appare con un disco intieramente illuminato, e questo ha contemporaneamente la sua massima larghezza, che nelle circostanze medie importa 17,9 secondi. Mentre si avvicina al Sole, può essere in quadratura con esso; così si chiama quella posizione per la quale le rette che congiungono i centri del pianeta e del Sole col centro della Terra formano un angolo di 90 gradi. La sua fase è fino allora diminuita, ma il pianeta è pur sempre a quest'epoca illuminato per $^6/_7$. Ma ora la fase non scema più, il pianeta ritorna ad essere più illuminato, mentre esso va riavvicinandosi al Sole, e contemporaneamente il suo diametro va continuamente diminuendo. Finalmente non appena esso sta apparentemente affatto vicino al Sole, è in *congiunzione* con esso, ha preso il suo minimo diametro di 3,7 secondi, e si mostra di nuovo, come nell'opposizione, con un disco pieno. Nella

figura 65 sono rappresentati i rapporti di grandezza del pianeta nelle sue tre posizioni caratteristiche. Tenendo il modo stesso già seguito per Venere e Mercurio, si conchiude che la distanza di Marte dal Sole è 1,52 volte la nostra. Nella sua opposizione, e nelle presupposizioni indicate più sopra, esso dista da noi di circa 75 millioni di chilometri, nella congiunzione di 375 millioni di chilometri. Noi avvertiamo però subito che per Marte in modo notevole si verifica, che questi rapporti non sono rigorosamente mantenuti in ogni rivoluzione apparente sulla vôlta del cielo. La grandezza del disco del pianeta, variabile durante le diverse opposizioni, ci mostra che tanto la nostra distanza da Marte nelle opposizioni dei diversi anni, come anche la sua distanza dal Sole, sono soggette ad oscillazioni. Si sa che questo fatto

Fig. 65. — Rapporti di grandezza di Marte nelle sue posizioni estreme.

ripete la sua origine dalla forma ellittica dell'orbita del pianeta, che in Marte è particolarmente pronunziata. Questa circostanza qui ci interessa solamente inquantochè da ciò noi ci accorgiamo che non tutte le opposizioni di Marte sono adatte alla sua osservazione. Nelle circostanze medie, come vedemmo, il diametro del pianeta appare di circa 18 secondi, esso può in posizione favorevole crescere sino a 24,4 secondi, cioè di circa un terzo rispetto alle condizioni medie. Poichè naturalmente tutte le particolarità della superficie del pianeta s'ingrandiscono nella stessa proporzione, ciò significa per noi un notevole salto in avanti, che si calcola per la minima distanza di circa 20 millioni di chilometri più o meno. La nostra fig. 65 rappresenta nel disco maggiore la grandezza apparente di Marte nelle sue opposizioni estreme. Queste ritornano periodicamente ogni 15-16 anni; ad esempio quelle del 1877 e 1892 erano opposizioni col massimo diametro del pianeta, per contro le opposizioni del 1884 e 1886 furono quelle che nel giro di sedici anni avvennero nelle condizioni più sfavorevoli.

Per determinati luoghi d'osservazione fissi sulla Terra, si presenta ancora da considerare generalmente un altro inconveniente, che può far contrappeso al vantaggio della maggiore vicinanza del pianeta, ed è la posizione dell'astro rispetto

all'orizzonte. Noi sappiamo già quanto sia grande l'influenza che il torbido invo-
lucro della nostra atmosfera esercita sulla visione distinta col cannocchiale. Ora
avviene che Marte in differenti opposizioni sale ad altezze differenti sull'orizzonte
di un determinato luogo. Ad esempio, nell'anno 1892, per mala ventura, Marte
rimase per gli osservatori del nostro emisfero settentrionale così vicino all'oriz-
zonte, che solo in condizioni dell'atmosfera particolarmente favorevoli si potettero
ottenere buone osservazioni. L'opposizione del 1894 fu per questi osservatori
ben altrimenti favorevole, benchè il pianeta apparisse di circa un quinto più pic-
colo che due anni prima, perchè in essa stava notevolmente più in alto, e la sua
luce doveva attraversare un molto minor numero di strati della nostra pertur-
batrice camicia gasosa. Per il progresso dell'Astronomia fu quindi vera fortuna,
che nell'opposizione del 1892, insolitamente favorevole, un amico dell'Astronomia
in America si decidesse a stabilire una stazione d'osservazione sull'altipiano pern-
viano, presso la città di Arequipa, a 16 gradi di latitudine Sud e ad un'altezza
sul mare di 2457 metri, stazione che fu specialmente dedicata allo studio della
superficie di Marte. Noi dovremo narrare ancora varie volte delle osservazioni colà
istituite. L'opposizione del 1894, come si disse, avvenne per l'emisfero Nord con
posizioni molto alte e quindi molto favorevoli, e non fu necessario cercare loca-
lità così meridionali. Perciò l'americano Lowell potè consacrare esclusivamente
allo studio di Marte il suo osservatorio privato eretto a Flagstaff (Arizona), coa-
diuvato dai due attivi osservatori W. H. Pickering e A. C. Douglass, che erano
stati suoi collaboratori durante la precedente opposizione in Arequipa. Questi osser-
vatori, assieme agli astronomi dell'Osservatorio Lick, che a cagione della loro alta
posizione, delle condizioni atmosferiche eccellenti sul Monte Hamilton, e segnata-
mente dei potenti mezzi d'osservazione che tengono colà a loro disposizione, potevano
apportare le più apprezzabili contribuzioni alla ricerca su questo vicino pianeta;
ed in unione ad altri parecchi osservatori diligenti in Europa, che verremo nomi-
nando nel seguito dell'esposizione, hanno specialmente nelle due ultime opposi-
zioni fatto progredire straordinariamente le nostre cognizioni intorno a questo
mondo così speciale ed ancora in molti punti così poco conosciuto.

Dai dati sopra riferiti sulla distanza e la grandezza apparente di Marte, segue
che esso ha un diametro di circa 6740 chilometri. Marte è quindi grosso solo la metà
circa della Terra, ed una volta più della Luna. La figura 66 dà i rapporti di
grandezza dei corpi celesti considerati fin'ora; per Venere, che è grossa quasi quanto
la Terra, si è ritenuto bastare la figura che a questa corrisponde. I paragoni fatti
si riferiscono ai diametri. Per paragonare fra loro le superficie, bisogna, come si
sa, moltiplicare il diametro per se stesso. Quindi la superficie di Marte corri-
sponde ad un solo quarto di quella della Terra, o quasi esattamente quanta ne
comprendono i soli continenti terrestri.

A questi dati affatto generali di Marte in posizione e grandezza, aggiungiamo
subito che i suoi raggi sono pronunziatamente colorati in rosso. Ciò era già cono-
sciuto dai popoli più antichi. Così in sanscrito, l'appellativo di Marte equivale
a carbone ardente; i Greci lo chiamavano l'ardente, ed in realtà, quando il pianeta
si trova vicino al nostro orizzonte, può essere facilmente scambiato per un fuoco
terrestre. Nessun altro membro del sistema planetario ha una simile tinta; sola-
mente alcune stelle fisse irradiano luce rossa. Se noi cerchiamo la causa di questo

notevole colore di Marte, bisogna senz'altro veder di ottenere dei dati dallo spettroscopio. Questo strumento ci insegna che il colore rosso non proviene per nulla, od almeno in parte ben esigua, da un involucro vaporoso del pianeta, come si era creduto assai generalmente prima dell'applicazione dello spettroscopio ai corpi celesti. Si concluse allora con troppa precipitazione dalle condizioni che prevalgono sulla nostra Terra, a quelle di Marte: che cioè se la nostra Terra fosse osservata dalla distanza di Marte, essa dovrebbe presentare lo stesso colore di questo. Il cielo azzurro sopra noi è una prova di ciò che una grande quantità dei raggi

Fig. 66. — Rapporti di grandezza della Terra con Marte, Mercurio e la Luna.

azzurri della luce solare viene assorbita dalla nostra atmosfera, e quindi una notevole rimanenza di raggi rossi deve essere rinviata al di fuori della Terra, nello spazio celeste. Il colore rosso della Luna eclissata, che allora è unicamente illuminata dalla zona della Terra che ha il crepuscolo, ci mostra chiaramente la tinta della luce terrestre. Se si analizzasse questa luce, si vedrebbe che il rosso è prodotto da un numero di bande e linee oscure nella parte azzurra dello spettro della Terra. Tali linee o bande a loro volta sono effetto dell'assorbimento in un gas oscuro per se stesso. Noi avremmo così dimostrata l'esistenza dell'atmosfera terrestre.

La cosa cammina altrimenti con Marte. Il suo spettro, come quello di Venere e di Mercurio, mostra solo deboli tracce di linee atmosferiche, le quali non possono quindi spiegare la preponderanza del rosso. Per contro lo spettro continuo che sta dietro le linee nere di Fraunhofer è molto più intenso nella parte rossa che in quella azzurra. Sulla Terra un consimile spettro viene prodotto da una regione rossa che sia illuminata dal Sole. Nel capitolo intorno all'analisi spettrale, noi già vedemmo che i corpi solidi o liquidi non producono alcuna linea spettrale, ma essi devono bensì, quando posseggono una tinta determinata, rivelarla a mezzo dell'assorbimento della tinta complementare. In questo caso lo spettro nulla ci dice circa la natura chimica di quella sostanza, ma ci dà sicure conclusioni intorno al suo colore. Le regioni liquide o solide di Marte, che riflettono la luce solare, sono quindi per la massima parte o rosse o giallo-rosse, all'incirca come la sabbia dei deserti.

Quindi lo spettro ci informa ancora assai incompletamente intorno all'atmosfera di Marte. Fino a questi ultimi tempi molti osservatori credettero di poter affermare che Marte possegga un inviluppo aereo, che deve essere molto simile al nostro e segnatamente molto ricco di vapore acqueo. Ma Campbell dell'Osservatorio Lick, credette di potere a sua volta dimostrare, che quelle antiche osservazioni non andavano immuni da obbiezioni, ad esempio, che fossero per massima parte istituite in epoche nelle quali anche la nostra atmosfera era sopraccarica di vapore acqueo, la cui influenza è quindi molto difficile a separarsi da quella della luce di Marte. Egli ebbe, nell'estate del 1894, occasione di osservare lo spettro di Marte in occasioni assai favorevoli, e di paragonarlo colla luce decomposta della Luna che in un caso si trovava molto vicina al pianeta. Egli non potè allora constatare alcuna differenza di sorta fra gli spettri dei due corpi celesti. Sebbene la Luna non possegga alcuna atmosfera che si possa scoprire, tuttavia Campbell non si ritenne senz'altro in diritto di poterne negare l'esistenza anche su Marte. Secondo la sua opinione basterebbe che questa avesse una densità non superiore di un quarto di quella della nostra, per poter porre d'accordo le sue osservazioni.

Per poter raggiungere un altro punto di partenza, più vantaggioso, per la discussione della questione di un involucro gasoso di Marte, ne conviene lasciare in disparte lo spettroscopio, e studiare ben addentro col cannocchiale i fenomeni della sua superficie. Marte mostra senza confronto più distintamente di Mercurio e Venere dettagli superficiali svariati, dei quali alcuni fin dai primi tempi delle osservazioni col cannocchiale furono veduti giustamente, mentre altri appartengono agli oggetti più difficili. L'investigazione di questi rimase riservata ad alcuni fortunati che possono godere contemporaneamente della facoltà d'osservazione, disposizione fisiologica, perseveranza, e del possesso di squisiti apparati di visione, e delle più favorevoli posizioni sul nostro pianeta terrestre. Così, ad esempio, vi è certo appena una dozzina d'uomini che hanno visto coi loro occhi la misteriosa rete di canali su quel mondo nostro vicino.

Il disco del pianeta mostra subito, anche nei cannocchiali mediocri, le macchie giallognole rossastre predominanti, e parti azzurrognole nerastre, le quali conservano in generale costante la loro forma e la posizione rispettiva, ma si spostano per contro regolarmente verso il lembo del disco, così che dopo aver tenuto dietro per qualche tempo a quello spettacolo curioso, non rimane più alcun dubbio nell'osservatore che questo mondo rotondo ruota intorno ad un asse, come noi sappiamo avvenire della nostra Terra. Misure esatte provarono che questa rotazione si effettua colla stessa regolarità ed invariabilità di quella che determina presso di noi la lunghezza del giorno ed avvicenda la luce del di colle tenebre della notte. Anche la lunghezza del giorno non è per Marte essenzialmente differente dalla nostra. Marte ruota intorno a sè stesso una volta in 24 ore, 37 minuti, 22,65 secondi; esso v'impiega quindi solo 41 minuti più della Terra. Questa velocità di rotazione è conosciuta per Marte certamente esatta fino ad alcuni centesimi di minuto secondo.

Principio delle stagioni in Marte.

Anno	Mese	Emisfero Sud	Emisfero Nord
1884	13 Maggio	Inverno	Estate
1884	10 Novembre	Primavera	Autunno
1885	5 Aprile	Estate	Inverno
1885	12 Settembre	Autunno	Primavera
1886	31 Marzo	Inverno	Estate
1886	28 Settembre	Primavera	Autunno
1887	21 Febbraio	Estate	Inverno
1887	31 Luglio	Autunno	Primavera
1888	16 Febbraio	Inverno	Estate
1888	15 Agosto	Primavera	Autunno
1889	8 Gennaio	Estate	Inverno
1889	17 Giugno	Autunno	Primavera
1890	2 Gennaio	Inverno	Estate
1890	3 Luglio	Primavera	Autunno
1890	26 Novembre	Estate	Inverno
1891	5 Maggio	Autunno	Primavera
1891	20 Novembre	Inverno	Estate
1892	20 Maggio	Primavera	Autunno
1892	13 Ottobre	Estate	Inverno
1893	22 Marzo	Autunno	Primavera
1893	8 Ottobre	Inverno	Estate
1894	8 Aprile	Primavera	Autunno
1894	1 Settembre	Estate	Inverno
1895	8 Febbraio	Autunno	Primavera
1895	26 Agosto	Inverno	Estate
1896	23 Febbraio	Primavera	Autunno
1896	18 Luglio	Estate	Inverno
1896	25 Dicembre	Autunno	Primavera
1897	12 Luglio	Inverno	Estate
1898	10 Gennaio	Primavera	Autunno
1898	5 Giugno	Estate	Inverno
1898	12 Novembre	Autunno	Primavera
1899	30 Maggio	Inverno	Estate
1899	28 Novembre	Primavera	Autunno
1900	23 Aprile	Estate	Inverno
1900	30 Settembre	Autunno	Primavera

Dal cammino percorso dai dettagli fissi superficiali in causa del movimento di rotazione sul disco apparente del pianeta, si può dedurre la posizione dell'asse dentro alla sfera del pianeta, in altre parole, si può trovare la posizione del polo rispetto a queste macchie giranti di Marte, e quindi anche rispetto a qualsiasi altro punto fisso dello spazio. Si è trovato che l'asse di rotazione ha una posizione relativa simile a quella della Terra, cioè è all'incirca diretto da Sud a Nord. Noi dobbiamo riservare per la seconda parte di questo lavoro più minuti ragguagli circa le relazioni cosmiche di questi rapporti di posizione, e rammentare qui unicamente il fatto generalmente noto, che pel nostro pianeta Terra, la speciale posizione del suo asse di rotazione determina la vicenda delle stagioni dell'anno. Lo stesso avviene per Marte. Noi possiamo dare le date terrestri precise alle quali cominciano sopra Marte per ognuno dei suoi emisferi, la primavera, l'estate, l'autunno e l'inverno. Noi possiamo anche asserire che su Marte il contrasto fra l'estate e l'inverno deve essere simile a quello che avviene presso di noi, solamente si può prevedere che saranno colà alquanto più estremi. Questi fatti, che furono dedotti con matematica sicurezza, dovevano essere trattati innanzi per la completa intelligenza di quanto segue.

Per ritrovarle facilmente, abbiamo dato qui sopra una tabella del principio delle stagioni su Marte, per le ultime opposizioni. Le stagioni sono su quel pianeta a noi vicino, come si vede da detta tavola, più lunghe e fra loro più disuguali che presso di noi. Impareremo più tardi la cagione di tale disparità.

Fin dai primi tempi si osservò ai poli di Marte delle macchie talvolta splendenti in bianco, come le più notevoli apparenze di tutta la superficie del pianeta,

quando erano sopratutto visibili. Il primo disegno di queste calotte polari che noi possediamo è dovuto a Maraldi e data dall'anno 1704 (vedi fig. 67); ma Maraldi scriveva allora che esse erano state vedute da più di 50 anni. Di rado queste macchie sono visibili contemporaneamente al polo Nord ed al polo Sud. Per lo più dal nostro luogo d'osservazione è accessibile al nostro sguardo soltanto uno dei poli, mentre l'altro per parecchi mesi si nasconde sulla parte del pianeta rivolta dalla parte opposta a noi. Le zone polari di Marte hanno come quelle della Terra durante intere stagioni dell'anno costantemente giorno e notte, esse sono quindi per lungo tempo rispetto al Sole rivolte alla Terra o verso la parte opposta. Quindi d'ordinario noi vediamo solamente una delle macchie polari bianche. Vi sono tuttavia epoche nelle quali non se ne può trovare alcuna, e ciò si spiega con ciò, che queste formazioni non sono permanenti ma divengono a vicenda ora maggiori ora minori, finchè svaniscono.

Fig. 67. Primo disegno conosciuto di Marte colle sue macchie polari dovuto a Maraldi (1704).

L'osservazione di questo fenomeno dimostrò chiaramente che l'accrescimento e la scomparsa di queste calotte polari bianche sono strettamente legati all'avvicendarsi delle stagioni sul vicino pianeta. Ciò era stato chiaramente riconosciuto da Herschel fin dal 1781. Ogni volta che uno dei poli, dopo la lunga notte invernale si rivolge di nuovo verso il Sole, noi lo vediamo ricoperto da una rotonda e bianca calotta, la cui grandezza diminuisce lentamente ma costantemente, quanto più il corrispondente emisfero del pianeta si accosta al principio dell'estate. Ma anche dopo questo, l'estensione della calotta bianca diminuisce ancora, fino a due o tre dei nostri mesi dentro l'estate di Marte, il che per noi significa fino al principio od alla metà di agosto. Poi, d'allora in avanti, la macchia rimane ristretta per alcun tempo, finchè a partire dall'equinozio di autunno ricomincia a crescere di nuovo lentamente, ma contemporaneamente si sottrae al nostro sguardo, perchè il polo s'immerge di nuovo nella notte invernale. La medesima istoria incomincia allora per l'altro emisfero. Ma la faccenda non succede con assoluta regolarità. In alcuni anni si vide la macchia estendersi assai più che in altri, ovvero restringersi ragguardevolmente; di più la macchia non appare sempre nella stessa posizione rispetto al polo, ed è particolarmente degno di nota che l'ultimo rimasuglio della macchia che va dissolvendosi, è bensì vicino al polo, ma non esattamente sopra di esso.

Alcuni esempi valgano a chiarire queste relazioni. Nel 1837 il polo Sud di Marte era coperto da questa macchia bianca sopra una regione che corrisponde a circa 70 gradi di latitudine, quando, ben inteso, s'immagini la sfera di Marte circondata, come quella della Terra, dai circoli dei paralleli, ed allora la superficie apparve coperta da un bianco involucro fino a 55 gradi di latitudine, che per noi corrispondono al punto più settentrionale della Germania. Questo però deve essere stato un caso strano, giacchè più tardi non si vide l'estensione della macchia polare bianca che, al massimo, raggiungeva la metà di quella. Nel 1877, Schiaparelli — del quale diamo il ritratto nella figura 68 — il fortunato osservatore di Marte, trovò che la calotta polare Sud nel suo massimo sviluppo, circa un mese prima del principio dell'estate dell'emisfero corrispondente di Marte, aveva un diametro di 29 gradi di latitudine. Tuttavia probabilmente questa misura

non si riferiva generalmente al massimo sviluppo esistente, che non poteva venire osservato. Un mese dopo il principio dell'estate, per contro, la macchia si era in complesso già fusa fino a 7 gradi. Essa prese allora la posizione che è rappresentata schematicamente nella figura 69. Noi vediamo in essa direttamente il polo Sud, il che in realtà non è mai possibile. Si riconosce anche qui che il polo stesso non apparve mai bianco, giacchè la macchia si trovò spostata dal polo in una direzione che sopra Marte si è designata con 30 gradi di longitudine.

Ora, dopochè la macchia si era nella solita maniera di nuovo allargata, durante la seguente opposizione del 1879 diminuì più ancora di prima, come si scorge, dal disegno delineato da Schiaparelli, riprodotto nella nostra fig. 70. Il minimo dello sviluppo fu questa volta di soli 4 gradi, ma lo scostamento dal polo avvenne nella stessa direzione di prima. Il planisfero (vedi fig. 70) mostra l'aspetto simultaneo dell'emisfero settentrionale di Marte, del quale però la regione dal polo fino a 70 gradi di latitudine, non potè essere esaminata, perchè giaceva al di là della parte del disco del pianeta illuminata ed a noi visibile, ma sulla quale si avvertivano degli speroni avanzati bianchi, i quali lasciavano congetturare che così tutto il campo invisibile dovesse essere discretamente rivestito di bianco, mentre la macchia bianca dell'emisfero meridionale era quasi intieramente scomparsa. Nel 1894 si osservò la sparizione completa della macchia polare Sud, il che non era ancora mai accaduto prima. Il 5 ottobre 1894, coll'istrumento dell'Osservatorio Lowell in Flagstaff, Douglass aveva visto la calotta ancora quale è rappresentata nel disegno della fig. 71. Le sue misure diedero per posizione della macchia 4,7 gradi dal polo Sud nella direzione di 59 gradi di longitudine, quindi ad un dipresso nella posizione medesima nella quale il minimo era stato visto nelle opposizioni precedenti. La differenza di longitudine di circa 30 gradi, è una quantità minima in una così immediata vicinanza al polo. Il 13 ottobre la calotta era divenuta invisibile per il nominato osservatore. Affatto indipendentemente da questi, Schiaparelli, in Milano, con l'aiuto del suo istrumento di diciotto pollici (poco meno di 46 centimetri) vide questa sparizione, ma la notò alquanto più tardi, manifestamente perchè per lui le condizioni d'osservazione erano ancora più favorevoli che per gli astronomi americani. L'osservatore piemontese scrisse nel suo taccuino d'osservazione che il 21 ottobre non vedeva quasi più niente della macchia, ma che solo il 29 ottobre ogni traccia di essa era scomparsa. Questo era già accaduto 59 giorni dopo il

Fig. 68. — G. Schiaparelli (nato a Savigliano nel 1835). Da una fotografia.

principio dell'estate, mentre nell'opposizione del 1877, nella quale le condizioni astronomiche erano simili a quelle dell'opposizione testè ricordata, la macchia bianca era ancora visibile nel suo minimo d'estensione 98 giorni dopo il principio dell'estate, mentre in quelle del 1879 e del 1892 lo era ancora rispettivamente dopo 144 e dopo 78 giorni; dopo i quali, come d'ordinario, si sottrasse al nostro sguardo nella parte a noi nascosta.

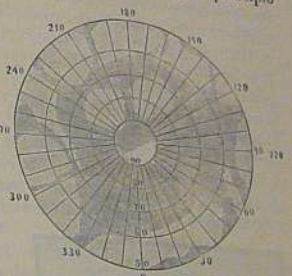


Fig. 69. — Posizione della macchia polare Sud sopra Marte nell'anno 1877, disegnata da G. Schiaparelli.

Dalla descrizione di questi notevoli fenomeni si svolge in noi l'opinione, che nelle calotte polari si tratti di strati di neve sulla superficie di Marte. In realtà la somiglianza di quelle apparenze constatate su quel corpo celeste nostro vicino colle corrispondenti sulla nostra Terra, è così ragguardevole, che fino a questi ultimi tempi nessun dubbio sembrò manifestarsi circa la eguaglianza dei fenomeni paragonati. Anche presso di noi, nell'inverno le regioni attorno al polo si rivestono di una cuffia irradiante di bianco, la quale poi col crescere dell'altezza del Sole diminuisce

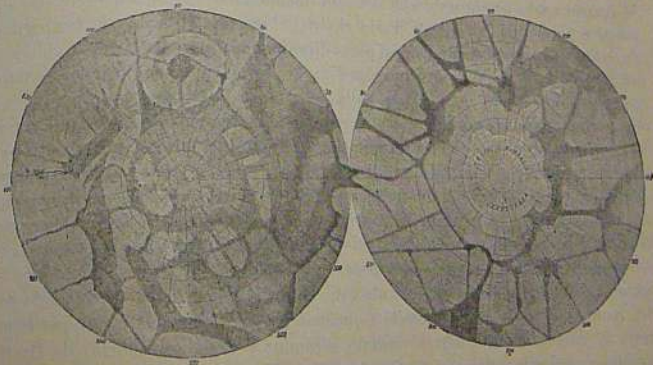


Fig. 70. — Vedute polari di Marte durante l'opposizione del 1879, disegnate da G. Schiaparelli.

d'estensione, e similmente solo appresso un tempo considerevole dopo il principio dell'estate, si è ristretta al suo minimo. Anche sulla Terra i punti più freddi non coincidono coi poli geometrici: i nostri poli di freddo si trovano ancora molto più verso l'equatore che sopra Marte. Però essi da questo pianeta non sarebbero veduti a quel modo che a noi lassù appariscono, giacchè presso di noi i poli rimangono sempre ghiacciati.

Questa differenza, assieme all'osservazione che la calotta bianca non si estende verso l'equatore mai tanto come presso di noi, ci permette di conchiudere alla prevalenza su Marte di un clima molto più mite di quello della Terra, quando noi potessimo essere veramente sicuri che quelle masse bianche sono anche neve e ghiaccio. Ma poichè Marte, come vedemmo, dista di una metà di più di noi dalla sorgente di calore del nostro mondo planetario, e poichè l'intensità calorifica, come tutte le altre forze irradianti diminuisce col quadrato della distanza, così noi sappiamo esattamente, che a Marte toccano solo i $^5/_7$ del nostro calore solare, così che il clima vi dovrebbe essere assai più rigido, quando si ammetta che colà governino le medesime leggi che valgono presso di noi. Noi pertanto faremo bene ritenendo come ancora non fondata l'opinione che vuole che le macchie bianche ai poli di Marte constino dei medesimi elementi che sulla Terra stanno riuniti nell'acqua nei suoi tre stati d'aggregazione, ed ammettiamo come certo solamente che su quel mondo vicino, ancora per tanti rispetti misterioso, esista una sostanza, che al diminuire della temperatura si deposita sulla superficie colorandosi in bianco, e che per contro coll'aumentare del calore o si scioglie o perde il suo colore bianco.

Fig. 71. La macchia polare sud di Marte, disegnata da Douglass il 5 ottobre 1894.

Noi vogliamo tuttavia cercare di spingerci verso la soluzione dell' interessante questione raccogliendo ulteriori dati d'osservazione. Se veramente nevica sopra Marte, vi devono anche essere nubi che debbono manifestarsi; ed un'atmosfera che alimenti e porti nubi, e correnti d'aria che dalle regioni più calde vi trasportino l'umidità, e dove questa congelandosi possa divenir solida in forma di neve o ghiaccio, e finalmente vari luoghi dove si raccolga l'acqua proveniente dalla fusione. Se tutte queste cose esistessero sopra Marte, dalla Terra se ne dovrebbero scoprire traccie. Le nubi sottrarrebbero talvolta al nostro sguardo le regioni ad esse sottostanti, o per lo meno dovrebbero ricoprirle di un velo che le offuschi; i venti si rivelerebbero con movimenti di queste nubi, ed i contorni delle terre e dei mari si manifesterebbero con differenti chiarezze e tinte nelle macchie fisse della superficie. Gli antichi osservatori avevano già creduto di scoprire nubi sopra Marte. Si fu segnatamente Schröter, speciale indagatore dei pianeti in Lilienthal, che alla fine del secolo precedente, sulla base di minute osservazioni, ammise come dimostrata con determinazione, sopra Marte, l'esistenza di nubi e di venti. Egli misurò in 46 casi la velocità del vento su Marte e la trovò simile a quella dei venti terrestri. Il vento più forte aveva la velocità di 47 metri al minuto secondo; i venti provenienti da Ovest sarebbero predominanti e più forti di quelli da Est, come avviene anche presso di noi. Ma queste osservazioni non trovarono conferma. Schröter aveva tratto le sue conclusioni dagli spostamenti di certe macchie che egli riguardava come nubi, rispetto ad altre, i quali mostravano la velocità normale della rotazione. Questo si può vedere dai tre disegni riuniti nella figura 72, nei quali *e* rappresenta la macchia con velocità normale; *d* la nube spinta dal vento, secondo l'opinione di Schröter.

In realtà però in tutte queste osservazioni si trattava, come fu più tardi dimostrato, di dettagli solidi della superficie, che nei vari giorni erano disugualmente visibili, così che nei difettosi telescopi di quei giorni poteva ben prodursi l'illu-

sione d'uno spostamento. In osservatori posteriori nacque la convinzione opposta, e l'atmosfera di Marte fu riguardata come pur sempre libera da nubi, quasi invi- luppo completamente trasparente, e le occasionali perturbazioni nella visibilità di alcune regioni spiegate come illusioni. Tuttavia in favore della grande purezza e limpidità dell'atmosfera di Marte, in confronto di quella del nostro involucro aereo, parla in ogni caso chiaramente l'importante accertamento, che l'orlo e il disco apparente del pianeta non appare mai più oscuro del centro, il che però dovrebbe accadere, quando l'aria di Marte assorbisse all'incirca anche solo tanta luce quanto la nostra.

Fig. 72. — Disegni di Marte, eseguiti da Schröter, con una massa di nubi moventesi ipoteticamente con rapidità.

Ma dalle nuove osservazioni risulta che la verità sta nel mezzo fra le due opposte opinioni. Schiaparelli ha ripetutamente veduto regioni di Marte velate repentinamente. Una volta, dopo scomparso il velo, la regione ridivennta visibile, e che prima riluceva di un colore rosso giallastro, era divennta bianca, e riprese il suo colore abituale solo dopo alcuni giorni. Sulla superficie di Marte si incontrano talvolta macchie bianche passeggiere fino nei pressi dell'equatore. Alcune si riscontrano sempre ogni volta nella stessa posizione, e ripetutamente in altre posizioni la superficie di Marte si mostra come spruzzata di bianco, e un buon numero di punti bianchi si stacca dal fondo giallo. Si sarebbe quindi tentati di congetturare colà un terreno rialzato, sul quale nevica più facilmente che in pianura, ed ove quindi sulle cime dei monti la neve dura più a lungo. Nei primi mesi del 1882 Schiaparelli osservò sull'emisfero nord di Marte un fenomeno molto interessante, il quale era visibile fino a 70 gradi di latitudine (fig. 73). Si videro otto proeminenze avanzarsi sull'orlo (indicate con I fino a VIc). Ma da I, II e VIc si dipartivano delle fascie bianche larghe, che incurvandosi a spirale fino all'equatore, scorrevano indifferentemente sulle altre configurazioni. Esse rimasero assai a lungo nella medesima posizione, impallidirono quindi e finalmente svanirono, quando il Sole salì più in alto. La curvatura delle spirali corrisponde alla direzione, nella quale sarebbe deviato un vento terrestre che soffiasse dal polo all'equatore. Si è quindi condotti alla supposizione che allora colà delle correnti d'aria fredda producenti cadute di neve ed agghiacciamenti siansi dipartite dal polo.

Anche le nuove constatazioni confermano che nell'atmosfera di Marte avvengono degli intorbidamenti. W. Pickering riassume così le sue osservazioni istituite in Arequipa nel 1892: " Indubbiamente esistono nubi sul pianeta, le quali però per molti rispetti sono differenti da quelle della Terra, segnatamente per quanto concerne la loro densità e chiarezza „. Particolarmente poi egli osservò che in quell'anno la calotta polare meridionale restò lungamente velata, e così dice intorno a ciò: " In causa della neve che andava squagliandosi, l'atmosfera di Marte era piena di nubi „. Anche il Barnard, all'Osservatorio Lick, confermò queste varie circostanze.

Se pertanto noi non possiamo senz'altro ammettere che sulla superficie di Marte si riscontrino delle precipitazioni bianche e formazioni di nebbie, noi siamo però

autorizzati a discutere dell'esistenza di serbatoi, nei quali si raccoglie l'acqua di fusione, e dai quali si elevano di nuovo delle nebbie, per compiere il ciclo delle trasformazioni. Noi domandiamo inoltre: sul mondo, nostro prossimo parente, esistono formazioni di terre e di mari? Delle macchie rosso-giallastre ed azzurrognole, che sono distribuite colle più svariate configurazioni sulla superficie del

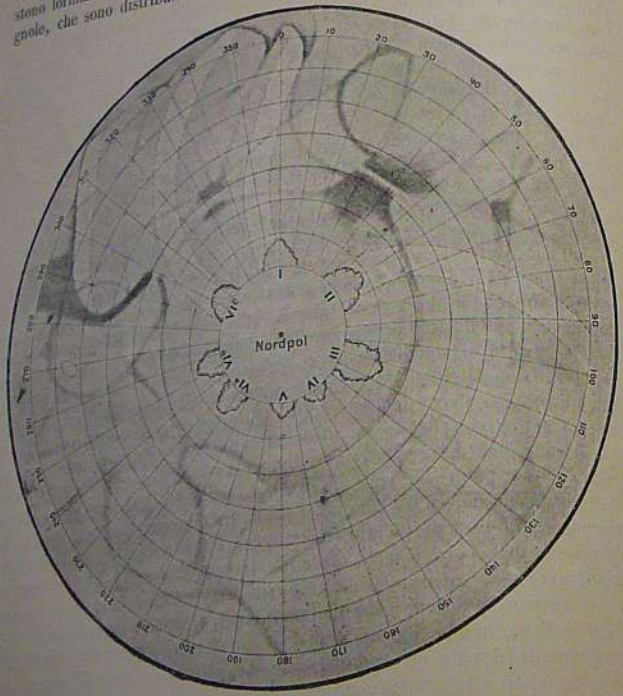


Fig. 73. — Striscie chiare vedute da Schiaparelli sull'emisfero settentrionale di Marte al principio del 1882.

pianeta, sembrano a prima vista rispondere affermativamente a questa domanda. Molte centinaia di disegni dimostrano che in ogni caso un gran numero di formazioni su Marte, posseggono, dacchè le si osservano, una posizione fissa ed una forma invariabile. Quindi da più di 50 anni si poterono delineare delle carte del pianeta, le quali nei loro tratti generali si mantennero simili, malgrado le aggiunte e le correzioni che i progrediti mezzi d'osservazione hanno apportato a questo ardito tentativo. La migliore e più completa carta di Marte, disegnata fino ad oggi, è sempre quella dedotta dalle osservazioni istituite da Schiaparelli dal 1877 al 1888,

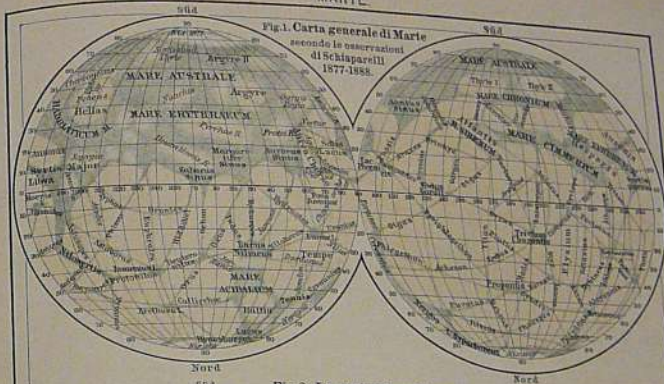


Fig. 1. Carta generale di Marte
secondo le osservazioni di Schiaparelli 1877-1888.

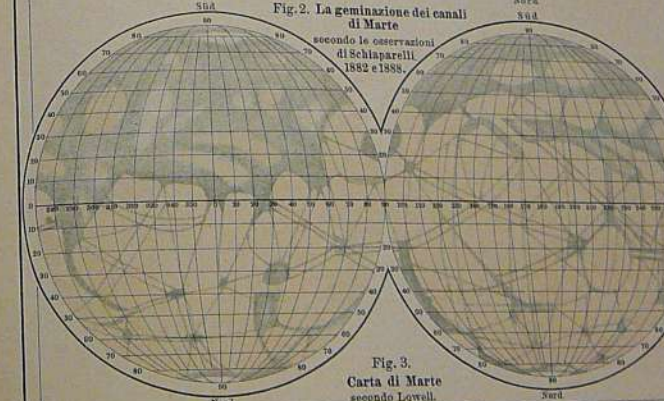
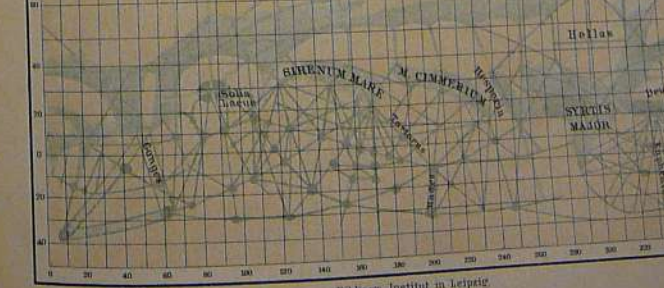
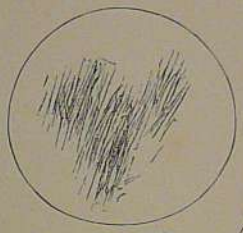


Fig. 2. La geminazione dei canali di Marte
secondo le osservazioni di Schiaparelli 1882 e 1888.

Fig. 3.
Carta di Marte
secondo Lowell.

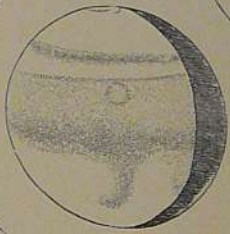


Bibliogr. Institut in Leipzig



Huygens 1659.

Herschel 1777.

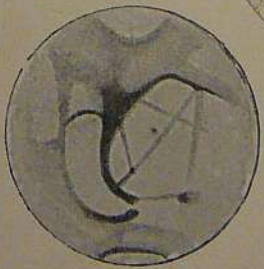


Schröter 1798.

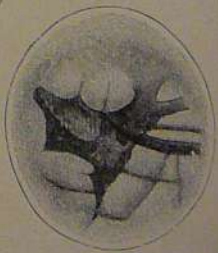
Beer e Mädler 1830.

Dawes 1864.

Green 1877.



Schiaparelli 1884.



Lowell 1894.

La Gran Syrte su Marte, secondo le osservazioni di tre secoli.

e che noi riproduciamo nella tavola colorata. I nomi che vi sono inscritti furono introdotti da Schiaparelli e, d'allora in poi, quasi unanimemente accettati.

Questa carta ci presenta una quantità di particolarità meravigliose: è come se a noi stesse davanti un'altra Terra: ma di esse noi possiamo qui far menzione solo delle più importanti. Le denominazioni stesse ci dicono subito che Schiaparelli e con lui quasi tutti gli altri conoscitori di Marte hanno ritenute le regioni giallognole quali masse terrestri, e quelle azzurrognole come mari, senza volere con ciò affermare per nulla che ne sia possibile il completo paragone colle corrispondenti condizioni terrestri. Vedesi pure che le regioni gialle superano d'assai in estensione quelle azzurre. Quindi se le prime sono realmente terre, allora la distribuzione dell'elemento solido e del liquido su quel mondo nostro vicino è diversa affatto dalla nostra. Mentre sulla Terra appena la quarta parte della superficie è occupata dalla terra ferma, su Marte la proporzione è quasi invertita; il mare si ritira e restringe a favore della Terra. Ora poichè, come già vedemmo, la superficie di Marte, è uguale a quella dei continenti sulla Terra, così colà la terra ferma in complesso non occupa molto minor spazio di quello che le corrisponde da noi. La distribuzione delle terre e dei mari è del pari assai diversa sui due corpi celesti. Su Marte non vi sono continenti, ma solo alcune grandi masse terrestri fra loro collegate. Quasi tutto l'emisfero settentrionale è esclusivamente composto di terre, ed il solo grande mare di Marte circonda il polo Sud. Ma anche in esso sembra che l'acqua, se essa è acqua, che qui copre la superficie, vi sia generalmente assai poco profonda, giacchè in certi luoghi, come quelli che sulla carta sono indicati con Deucalionis Regio, Pyrrhae Regio, Argyre, Hellas, sembra che la terra appaia attraverso ai flutti azzurri, come se in essi esistessero dei bassi fondi e dei banchi di sabbia, ed anche in altri luoghi la superficie del mare ha un aspetto screziato. Le regioni, che costantemente sono di azzurro cupo, occupano solamente uno spazio relativamente assai ristretto. Ad essi appartiene segnatamente la *Syrthis Major*, la quale, astraendo dalle bianche calotte polari, deve generalmente riguardarsi come l'oggetto più notevole della superficie di Marte, e che fu da quasi tutti gli osservatori veduto in egual modo, e disegnato di conseguenza. Esso una volta era chiamato l'Oceano Dawes, od anche, in conseguenza della sua forma acuminata, mare dell'Orologio a sabbia *(Hourglass-Sea)*. È interessante il porre fra loro vicini cronologicamente alcuni disegni di questa regione, eseguiti da osservatori differenti (vedi tavola). Noi scorgiamo così ad un tempo l'enorme progresso fatto dall'arte di osservare da 200 anni in qua e segnatamente negli ultimi decenni, e ancora come l'immagine del nostro mondo vicino si vada completando nelle nostre cognizioni. È appena necessario di accennare che i disegni fatti direttamente al cannocchiale non possono venire immediatamente paragonati nei loro contorni con quelli della nostra carta, poichè per questi ultimi si dovette scegliere una proiezione, che riproduca inalterate le parti del lembo. In realtà solo nel mezzo del disco del pianeta noi riconosciamo alla loro forma le varie contrade, come la carta lascia vedere; quanto più noi ci avviciniamo all'orlo, noi vediamo le particolarità della superficie sotto angoli di visione sempre più obliqui, e quindi tanto più esse appaiono in iscorcio.

Alcuni investigatori di Marte, in particolare W. Pickering, ritengono per mari reali solo queste regioni costantemente oscure; le altre macchie pure oscure, ma solo

in complesso ed all'ingrosso, sarebbero per contro di una natura " anfibia ", cioè né terra né mare, ma a vicenda l'uno e l'altro. Infatti queste regioni mutano spesso assai notevolmente di forma e di tinta, così che all'aspetto si crederebbe che su Marte avvengano talvolta gigantesche inondazioni, dell'estensione delle quali la Terra non presenta alcun esempio. Su quel pianeta i confini fra le terre ed i mari sono evidentemente meno solidamente tracciati che nel mondo che noi abitiamo. In conseguenza della vicenda delle stagioni e della fondita delle calotte polari avvengono potenti spostamenti delle linee di costa, e cambiamenti di varie sorta, dei quali dovremo ancora discorrere più avanti. Contemporaneamente parallele ad essi si manifestano delle mutazioni di tinta segnatamente nelle regioni più oscure, che furono attentamente studiate da W. Pickering negli anni 1890, 1892 e 1894. Secondo quest'osservatore, sul pianeta avvengono spesso delle variazioni di colore straordinariamente rapide, che solo parzialmente devonsi ascrivere ad una speciale atmosfera. Pickering avverte, che quando si guarda da un'altura il verde di un paesaggio terrestre, esso naturalmente appare molto meno verde che da vicino, e che quando vi passa sopra l'ombra di una nube o nebbia, esso si converte in un grigio uniforme, quale quello che occasionalmente fu osservato anche su Marte. La parte nord-ovest della Gran Syrte apparve a diverse epoche grigia, verde, bleu, scura ed anche violetta. Quando questa regione, all'epoca dell'equinozio d'autunno si trova nel centro del disco, la regione orientale è distintamente più verde di quella occidentale; quando la stagione finisce, il colore diviene più debole, e la vaporosità verde si mostra ancora immediatamente solo lungo i lembi delle coste. Il 27 giugno 1890, alcuni giorni prima dell'equinozio di primavera dell'emisfero Sud, a Nord-Est del triangolo della Syrte apparve una macchia gialla, che col progredire della stagione s'allargò così che ricoprì tutta la regione. Nel 1892 la stessa regione si mostrò da prima completamente verde; il 9 maggio, cioè due settimane prima dell'equinozio di primavera, emerse per contro di nuovo la macchia gialla o probabilmente rossa nel luogo medesimo del 1890, e potè d'allora in poi essere ulteriormente tenuta d'occhio.

L'aspetto del pianeta lungo l'avvicendarsi delle sue stagioni è descritto vivamente anche da Parcival Lowell dietro le sue osservazioni del 1890. Egli dice: - Non appena si era iniziata la fusione delle nevi, nelle regioni oscure apparvero lunghe striscie di una tinta ancora più oscura. Io non le vidi venire, ma poichè io le vidi andar via è indubitato che esse devono essere venute. La più apparisconte di esse giaceva nel mare del Sud tra Noachis ed Ellade, ed attraversava quindi il mare Eritreo fino alla Syrte. Un'altra dopo essa pure notevole stava fra Ellade ed Ausonia. Sebbene queste striscie fossero ben visibilmente più oscure del mare attraverso al quale esse correvano, tuttavia questi ultimi erano nella condizione loro più buia. Il fatto che quelle striscie attraversano le così dette superficie dei mari, fa nascere il dubbio se veramente queste regioni di mari lo siano. Poi le regioni oscure rimasero per qualche tempo immutate, mentre il processo di spagliamento delle calotte polari era più intenso. Quindi incominciò un periodo di asciugamento. Le loro parti più chiare lo divennero ancora di più, quelle oscure meno cupe: si scorgeva ogni sfumatura immaginabile. Per quest'epoca era particolarmente da notare, che non si poteva conservare un qualsiasi contorno della catena di isole nel mare meridionale. Le parti più chiare e quelle più oscure si

frammischiavano e confondevano in modo indistinguibile. In confronto colla carta di Marte, queste regioni erano sottoposte ad una inondazione non direttamente ma indirettamente; probabilmente esse si trovavano nei diversi stadi di produzione vegetale, in conseguenza di una quantità relativamente piccola d'acqua, dalla quale essi erano inondati. La tinta di quelle regioni più oscure era allora indubbiamente per il mio occhio di un azzurro verde. Questo impallidì quindi gradatamente per far luogo ad un giallo arancio..... In tutte queste interessanti mutazioni che la faccia di Marte mostra nel corso delle stagioni, sono unicamente le grandi masse continentali che, ad eccezione di qualche fluttuazione di chiarezza qua e là, rimangono quasi inalterate. Eguali alle rosse regioni deserte della nostra Terra e nella tinta e nella invariabilità, si possono riguardare come di un carattere simile a queste. Esse non mutano, perchè ne hanno già perduta la possibilità „. Lowell accompagna queste comunicazioni con disegni, fra i quali i tre riportati nella figura 74, che rappresentano i dintorni di Esperia, i quali rendono assai ben manifesto il fenomeno dell'asciugamento, come egli lo chiama.

Lowell, e con lui anche W. Pickering, è d'opinione che i cosidetti mari siano soltanto regioni molto profonde, abbassamenti ai quali giunge l'acqua di fusione per fecondare durante l'estate il terreno melmoso, a somiglianza delle inondazioni del Nilo. Esse ripeterebbero quindi, in questo modo di vedere, il loro colore oscuro, non dall'acqua, ma da una vegetazione mutantesi colle stagioni e traente vantaggio dalle inondazioni. In complesso, dopo ciò Marte presenta l'immagine di un mondo povero d'acqua, i cui continenti giacciono già come morti deserti senza pioggia, mentre una volta ed anche oggi i fondi marini talvolta ancora coperti d'acqua sono divenuti i luoghi di rifugio della vita. Noi dovremo più tardi addentrarci in queste questioni per dedurre dalla storia dell'evoluzione degli astri altri argomenti che valgano a provare che una graduale diminuzione dell'acqua sui corpi celesti corrisponde ad un probabile andamento degli avvenimenti.

L'opinione degli astronomi di Flagstaff sta, in un certo senso, fra le due estreme che in questi ultimi tempi vennero poste di fronte. Schäberle dell'Osservatorio Lick sostiene saldamente il suo convincimento, che *le regioni chiare di Marte siano mari, e quelle oscure terre*. Egli conchiuse questo, per una parte dall'aver riconosciuto che nei paesaggi terrestri bene spesso l'acqua appare molto più chiara della Terra, ed inoltre da esperimenti che egli ha istituito con tinozze piene di mercurio e d'acqua, ma specialmente dal fatto che precisamente le regioni più oscure siano soggette a cambiamento costante di colore ed anche mostrino differenze permanenti di colorazione, mentre le regioni gialle si mantengono quasi inalterate, ma che l'invariabilità corrisponde al carattere del mare. Le linee nere che si vedono attraversare le regioni gialle, e che furono paragonate a canali, potrebbero essere catene di montagne, le cui cime emergono dai flotti come una fila di isole, come in qualche luogo avviene anche sulla Terra.

Schiaparelli contro a queste vedute sostiene che l'acqua profonda da 100 a 150 m. di profondità, assorbe $^{49}/_{50}$ della luce che riceve normalmente e ne irradia solo $^{1}/_{50}$, per il che i mari, veduti da grande distanza, dovrebbero di necessità apparire più oscuri della terra che assorbe assai meno luce. Egli rammenta i laghi alpini che talvolta si possono guardare sotto un angolo simile a quello sotto il quale noi vediamo i laghi di Marte; essi hanno sempre un'apparenza più oscura che

le regioni circostanti. « Ma quando „ prosegue l'astronomo italiano, « questi mari siano composti di latte o di zolfo liquido, allora il mio ragionamento è generalmente privo di valore. » L'argomento dei laghi alpini è infatti caratteristico, giacchè è ben possibile che giù in basso sotto il nostro cielo bianco azzurro carico di fitte nubi bianche od in conseguenza della grande quantità d'acqua che vi esiste, la superficie riflettente dell'acqua rinvii al cielo sereno sotto un certo angolo anche una luminosità chiara. Ma nelle alte Alpi l'aria è molto più sottile ed il cielo di un azzurro più cupo, quale noi possiamo supporlo su Marte. L'ultimo argomento della dimostrazione di Schäberle sta in ciò, che le regioni oscure, per rappresentare mari, sono di natura troppo variabile; e qui s'inframmette ora l'opinione di

Giugno Agosto Ottobre

Fig. 74. — Regione Esperia su Marte, disegnata nel 1894 da Lowell.

Pickering e Lowell, poichè regioni rivestite di vegetazione appariranno generalmente sempre più oscure che aride superficie sabbiose od in generale terreno sterile. Le inondazioni accidentali spiegano quindi come alcune parti dei cosi detti mari diventino più oscure.

Se quest'opinione ultima fosse la giusta, quelle particolari striscie che attraversano le regioni di terra, e che finora furono chiamate *canali*, dovrebbero trovare una spiegazione affatto diversa da quella che sembra indicata dalla loro denominazione. In ogni caso questi canali sono la cosa più meravigliosa fra quante ce ne presenta la superficie di Marte, e probabilmente uno dei segni più significativi che il cielo ci dia. Essi corrono direttamente come corde attraverso alle superficie terrestri, cominciando sempre da un mare e facendo capo sempre ad un altro mare, ad un lago intermedio, o ad un incrocicchio con uno o con più altri canali. Mai alcuno di essi si diparte o termina in terra aperta, mai s'incurvano sinuosamente, sebbene presentino talvolta alcune eleganti curve. Il loro andamento complessivo non ha ad ogni modo alcuna lontana rassomiglianza col corso di un fiume. Essi costituiscono un meraviglioso sistema di *allacciamenti*, che non avrebbe potuto essere tracciato senza scopo evidente, quando, dal punto di vista terrestre, dovesse servire alla comunicazione fra alcune di quelle supposte superficie d'acqua. Ora, poichè presso di noi la Natura non ha prodotto alcuna formazione che sia adatta immediatamente alle condizioni della più facile comunicazione, così questo sistema di linee che si diramano suggerisce facilmente la supposizione che esso si possa riguardare come l'opera di esseri intelligenti. Le nostre considerazioni mirano così naturalmente, in modo essenziale, alle due questioni: è egli possibile nelle idee terrestri il considerare queste configurazioni superficiali come prodotti

solamente dall'azione di forze naturali; ovvero, nel caso che a questa prima domanda si debba dare risposta negativa, possiamo noi spiegare a mezzo di esseri della nostra specie la condizione e l'esistenza di queste forme rettilinee? Noi dobbiamo, innanzi tutto, rappresentarci come indubbiamente possibile la supposizione di forze naturali ignote o di esseri le cui capacità superino le nostre in modo per noi inconcepibile, potendo poi essere anche affatto probabile l'esistenza dei due fattori; ma queste ipotesi non ci fornirebbero alcuna spiegazione ammissibile. Tali forze, esseri cosi fatti sarebbero per noi del tutto inconcepibili, e con essi è possibile il dimostrare qualsiasi cosa, e quindi nessuna cosa. Noi non ci saremmo quindi trattenuti su ciò così a lungo, quando in fatto, da molte parti, tali argomenti per ora a noi soprasensibili non fossero stati portati sotto la nostra considerazione. Ma lo spiegare l'incompreso con l'incomprensibile, si chiama farsi il giuoco troppo facile. Esaminiamo, prima di passare a rispondere alle proposte questioni, le principali apparenze di queste misteriose formazioni.

Al primo sguardo ciò che di più notevole colpisce, è l'ordinamento dei canali sull'isola Ellade, che sta direttamente a sud della Gran Syrte. Due " canali " attraversano quest'isola, uno quasi esattamente da Nord a Sud, l'altro orientato da Est ad Ovest, così che essi s'incontrano ad angolo retto nel centro dell'isola. Talvolta uno dei quadranti così formati è " inondato ", allora l'oscurazione si protrae esattamente fino ai due corsi di canali limiti. La regione denominata Taumasia mostra un'altra particolarità. Essa appartiene bensì alla grande massa di terra ferma, ma ne è separata da un canale curvo, così che essa col suo contorno forma verso il mare del Sud una superficie rotonda quasi esattamente circolare. Quasi al suo centro sta una macchia scura discretamente estesa, ed ancora circolare, che è detta il lago del Sole *(Lacus Solis)*. Questa da una parte è collegata col mare del Sud da un canale che corre da essa quasi direttamente verso il Sud, mentre due altre linee stabiliscono un collegamento del grosso lago centrale coi due corsi che delimitano la regione a Nord. Non erasi potuto trovare alcun ordinamento preconcetto, quando si venne a scorgere la comunicazione fra il lago del Sole e l'oceano da una parte, ed il sistema così diramato di canali dall'altra. Anche nell'interno della terra ferma dove s'intersecano parecchi canali, l'incrocicchio si allarga spesso fino ad essere un lago piccolo od anche grande, come noi possiamo vedere ripetutamente nelle nostre carte.

È altamente meraviglioso l'ordine pieno di significato che è dimostrato dal complesso del sistema di canali. Mentre cioè i canali potrebbero intersecarsi sotto tutti gli angoli possibili, un certo numero di essi sono sempre *paralleli*, e così collocati rispetto ai meridiani del globo di Marte, che essi sulle corrispondenti proiezioni delle carte appaiono paralleli. Tutti i canali di un tale sistema incontrano sotto un medesimo angolo quelli pur paralleli di un altro sistema. Esattamente da Nord a Sud e lungo il 240mo grado di longitudine corre Etiope, per quasi una dodicesima parte di tutto il pianeta, cioè per una lunghezza di 5000 km., uguale alla distanza fra Roma e Pietroburgo. Corrono ad esso paralleli Galassia, Eufrate che si stende in oltre 80 gradi di latitudine, Anubis, Astusapo ed il canale sopra l'Ellade, già sopra menzionato, denominato Alfeo. Solo pochi canali vanno perpendicolarmente a questo sistema, così il secondo canale sull'Ellade, quindi alquanto a Nord l'Eliconio, ed il Callirrhoe alquanto incurvato. Una molto ricca

rete di canali, alquanto spostata verso Sud-Ovest, sta su questo sistema; le linee parallele di detta rete procedenti da Nord a Sud, sono, procedendo in ordine da Ovest verso Est: Lete, Ciclope, Hades-Laestrygon, Titano, Gorgone, Sirenio, Iris, Gehon. Ancora alquanto più inclinati verso Sud-Ovest sono Jamuna, Oxus, Hiddekel, Phison, ed a questo corre parallela la costa occidentale della Gran Syrte. Questo esteso golfo di mare va restringendosi verso Nord nella Nilosyrte, che rispetto

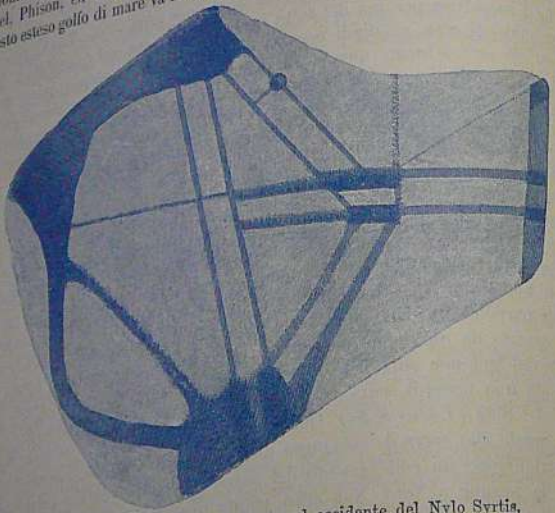


Fig. 75. — Canali sul pianeta Marte ad occidente del Nylo Syrtis, disegnati da G. Schiaparelli negli anni 1883-84.

alla menzionata costa gira in eleganti archi 90 gradi, e che quindi è perpendicolare al menzionato sistema di canali. Parallelamente ad esso vanno Astaboras, Typhon, Jordanis, Hydraotes-Nilus, e finalmente Pyriphlegethon, insolitamente lungo, il quale collega con un percorso teso a linea retta il lago intermedio Propontis posto a 45 gradi di latitudine Nord col lago del Sole che sta fra 20 e 30 gradi di latitudine Sud. Ancora più inclinato sui cerchi di longitudine e latitudine coi quali forma quasi esattamente un angolo di 45 gradi, corre il più esteso e più interessante sistema di corsi d'acqua. Ad esso appartengono i mari dell'emisfero meridionale cotanto sviluppati in lunghezza e così altamente curiosi, che lasciano fra loro lunghe lingue di Terra ed istmi, cosicchè sembra che quei mari non siano altro che terra rivestita d'acqua, fra due canali paralleli, che ora formano le linee di costa, come già vedemmo per il quadrante di Ellade. Questo sistema è caratterizzato dalle macchie oscure chiamate Mare Tyrrhenum, Cimmerium, Sirenum, fra le quali stanno quelle chiare Esperia ed Atlantis. Parallele a quelle stanno ancora, ad oriente di Thaumasia, le regioni Pyrrhae e Deucalionis. Nell'interno delle masse terrestri e parallelamente alle sponde di quei mari, benchè molto da essi lontane, corrono le lunghe linee

dell'Eumenides e del Phlegethon. Perpendicolarmente al mare Sirenum stanno Cerberus, Avernus, Gigas, Araxes.

Ammettiamo innanzi tutto che sia data la spiegazione di questo parallelismo in tutto il sistema dei canali: allora non ci può meravigliare il fatto, che entro il sistema di paralleli si riscontrino alcuni canali sdoppiati, così che in essi scorrono due linee oscure invece di una. Gli sdoppiamenti osservati da Schiaparelli,

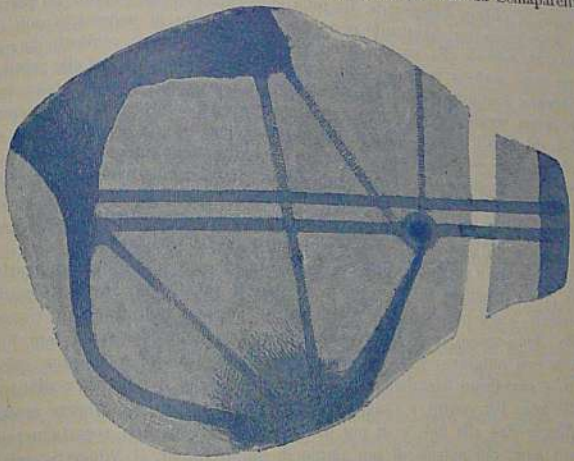


Fig. 76. — Canali del pianeta Marte, la stessa regione della fig. 72, disegnata da Schiaparelli nel 1886.

sono rappresentati nel secondo planisfero della nostra tavola. Questi sdoppiamenti sono in oggi da attribuirsi alla stessa causa del rimanente parallelismo dei canali. La nostra carta rappresenta quasi esclusivamente quei canali che appartengono ai grandi sistemi paralleli che vi sono tracciati; così apparirono una volta contemporaneamente al mare Cimmerium, il quale era diviso in due braccia di mare parallele ad un'isola di forma allungata, sdoppiati Eumenides, Hydraotes e Astaboras, a quelli ancora paralleli, del pari che Cerberus, Avernus e Gigas perpendicolari al mare Sirenum.

Tutti questi sdoppiamenti sono visibili solamente talvolta; così pure varia continuamente l'aspetto di tutto il sistema di canali. In poche settimane od anche giorni un canale od il suo sdoppiamento può manifestarsi o scomparire interamente: e quasi sembra anche che questi mutamenti stiano in stretta relazione colle stagioni. L'aspetto di un paesaggio può quindi perciò cambiare di molto, come si può vedere dai disegni delle figure 75 e 76. Esse riproducono la regione all'Ovest della Nilosyrtis, quale Schiaparelli la vide negli anni 1883-84 e 1886. Questo astronomo descrive come segue il misterioso procedimento dello sdoppiamento o

geminazione. " Io vidi abbastanza frequentemente come le due linee si venissero mostrando contemporaneamente, fuori da una nebbia grigia più o meno densa, che si stendeva lungo la direzione del canale.

" Dall'insieme delle osservazioni parrebbe risultare che tale stato di nebulosità sia una condizione generale della produzione di geminazioni; non conviene però intendere che si tratti qui di oggetti celati da nebbie o da alcunchè di simile, i quali si vadano discoprendo. Da tutte le osservazioni che ho fatto, mi pare anzi di poter giudicare che quanto ci appare sotto aspetto di nebulosità non costituisca un *ostacolo* alla visione di oggetti preesistenti, ma sia piuttosto da riguardarsi come *materia* in cui si vanno pronunziando forme regolari che prima non esistevano. Piuttosto che ad una nebbia, la quale scomparendo ci lasci vedere cose prima occulte, si può comparare quel processo di formazioni ad una moltitudine di soldati prima confusamente sparsi, i quali poco a poco si vadano ordinando in linee od in colonne. Se questo è vero, dovremo ancora concludere, non essere le geminazioni cose permanenti e indissolubilmente connesse colla superficie solida del pianeta; ma piuttosto formazioni variabili, determinate però da accidenti geografici permanenti della superficie, e quindi capaci di riprodursi periodicamente in un medesimo luogo e sotto un medesimo aspetto. "

Passando ora a rispondere alle nostre domande sopra proposte, rammentiamo che la prima questione è: È possibile spiegare i canali come prodotti naturali di fenomeni a noi conosciuti? A ciò manca in ogni caso sulla Terra un riscontro spiccato. Non possono, come già accennammo, essere fiumi. Non si dà alcun fiume dal corso così rettilineo; essi cominciano tutti in mezzo alle terre come piccoli torrenti, e raccolgono lateralmente altri fiumi, per il che il letto si va allargando sino alla foce. Per contro i canali di Marte conservano una larghezza costante dal principio sino alla fine, e di più hanno una larghezza non toccata neppure dai nostri fiumi più potenti. Il più ampio di questi canali, il Nilosyrtis, misura fra le sue sponde non meno di 300 km., cioè eguaglia il mar Baltico ove è più largo. La maggior parte dei canali che attraversano le terre, per tratti che raggiungono talvolta la quarta parte dell'intiera circonferenza del pianeta, hanno sempre ancora la ragguardevole larghezza di 60 kilometri; essi sono quindi all'incirca larghi quanto il Golfo Finnico o l'imboccatura del Kattegat. Le linee più sottili, che nelle condizioni più favorevoli si possono ancora scorgere sopra Marte, non sono certo più strette di 30 km. La corrente delle Amazzoni raggiunge questa larghezza solo poco prima della formazione del suo delta, ma nel suo più ampio sviluppo nell'interno dei continenti non raggiunge la larghezza di 15 km. Se quindi i canali di Marte fossero fiumi nel senso che noi l'intendiamo, essi ci darebbero indizio di una ricchezza d'acqua così straordinaria, quale noi non troviamo confermata in modo veruno da osservazioni d'altra maniera.

Questa considerevole larghezza è ciò che fece nascere dei dubbi fondati, che questi oggetti potessero essere corsi d'acqua, anche nel senso dei nostri canali terrestri. Noi sappiamo già che Schaeberle li riguarda come catene di montagne, che emergono dal mare come gruppi di isole. La loro lunghezza, il loro sviluppo in larghezza sarebbe quindi generalmente rappresentato sulla Terra da corrispondenti conformazioni topografiche. Ma la disposizione loro oppone qui difficoltà insormontabili. Noi non conosciamo sulla Terra alcun gruppo di montagne, che sia

disposto in sistemi paralleli, paragonabili a quelli dei canali di Marte. Dovrebbe, ad esempio, una catena come le Cordigliere, la cui lunghezza corrisponde a quella di alcuni canali di Marte, correre parallela ad un certo numero di altre catene, all'incirca ad una attraverso all'Asia, e dovrebbe inoltre essere attraversata da giogaie montuose, che mantenessero di nuovo fra loro la stessa direzione, e di più lo sviluppo della massa montuosa dovrebbe anche avere la stessa larghezza. Ma queste sono condizioni tali, che non si possono derivare dalle cause che presso di noi produssero i monti. Sulla Terra sarebbe impossibile la formazione di cosiffatti sistemi di montagne.

Alcuni altri spiegano le formazioni delle quali stiamo discorrendo quali spaccature aperte che attraversino la superficie di Marte. E se anche non abbiamo sulla Terra nulla da porvi a confronto, già vedemmo che sulla Luna si riscontrano indubbiamente simili cose. Ma da tutto quanto abbiamo imparato intorno a Marte, e da quanto ancora esporremo, noi dobbiamo trarre la conseguenza, che questo corpo celeste occupa per il suo carattere una posizione intermedia fra la Terra e la Luna, e che però rassomiglia più a quest'ultima che al globo da noi abitato. Si fecero degli esperimenti con palle di gomma spalmate o rivestite di paraffina, per indagare l'effetto del restringimento e della dilatazione sulle parti non elastiche della superficie. Quando la palla si raggricchiava, apparivano su di essa delle forme molto rassomiglianti alle nostre catene di montagne, quando per contro si dilatava, si producevano ampi sistemi di fessure, incrociantisi fra di loro, e che potevano pur riguardarsi come analoghi ai canali di Marte, quando noi potessimo astrarre dalla loro disposizione sistematica. Ma questa opporrà sempre una difficoltà insormontabile a qualsiasi spiegazione naturale dei canali di Marte. Noi vediamo bensì sulla Terra e nelle sue parti certe analogie, quali estese linee di costa che corrono ad un dipresso parallele, come è reso visibile dalla figura 73, ma esse rimangono tuttavia molto lontane dalla eccezionale uniformità dei canali di Marte, tracciati come colla riga. Linee rette, che non si riscontrano nella conformazione topografica terrestre, si presentano invece, come sappiamo, in grandiose estensioni sulla Luna, e se anche non ne conosciamo la provenienza, tuttavia non può per noi essere dubbio, che esse sono forme naturali. Non possono i canali di Marte venir paragonati ad esse? Bisogna senz'altro rispondere negativamente. I sistemi di raggi della Luna, come il nome stesso lo dice, si dipartono da un punto; la causa della loro produzione agì probabilmente da questo solo punto; a mezzo di una pressione crescente noi possiamo produrre sopra una sfera delle linee la cui posizione corrisponde esattamente a quei sistemi di raggi. Con ciò è provato che esiste la possibilità di spiegarli a mezzo delle forze naturali conosciute. Ma la disposizione dei sistemi di linee sopra Marte è essenzialmente diversa, e la loro causa senza dubbio affatto diversa del pari.

La natura produce continuamente ed in gran numero dei sistemi matematicamente paralleli, che si tagliano sotto angoli determinati; sono i cristalli. La loro formazione, che avviene davanti ai nostri occhi tanto spesso quanto lo vogliamo, rimane ancora pel ricercatore una meraviglia inspiegata. Non potrebbero i canali di Marte ripetere la loro origine dalla medesima forza misteriosa? Schiaparelli ha difatti espresso una simile idea, quando dice: " La geometria della natura si manifesta in molti altri fatti, dai quali è esclusa l'idea di un lavoro

artificiale qualunque. Gli sferoidi così perfetti dei corpi celesti e l'anello di Saturno non furono lavorati al tornio, e non è col compasso che Iride descrive nelle nubi i suoi archi così belli e così regolari; e che diremo delle infinite varietà di bellissimi e regolarissimi poliedri onde è ricco il mondo dei cristalli? E nel mondo organico, non è geometria bella e buona quella che presiede alla distribuzione delle foglie di certe piante, che ordina in figure stellate così simmetriche tanti fiori del prato, tanti animali del mare; che produce nelle conchiglie quelle spirali coniche così eleganti, da disgradarne ciò che di più bello ha fatto l'architettura gotica? In tutte queste cose le forme geometriche sono conseguenze semplici e

Fig. 77. — Linee di costa parallele dei continenti terrestri; secondo W. Prinz.

necessarie di principi e di leggi che governano il mondo fisico e fisiologico. Che poi questi principi e queste leggi siano esplicazioni di una potenza intelligente superiore, possiamo ammetterlo: ma ciò nulla fa al presente argomento „.

Naturalmente queste indicazioni del pensatore italiano, non hanno pretesa alcuna di atteggiarsi ad una ipotesi meditata. Sarebbe infatti difficile trovare nella natura terrestre un indizio che rendesse probabile la possibilità che la forza di cristallizzazione si estendesse fino ai corpi celesti. La natura può produrre certe cose sempre entro certe dimensioni. Del resto contro la possibilità di una azione di una specie di forza di cristallizzazione nella formazione dei canali di Marte non si può addurre nulla che la demolisca, giacchè non è possibile il fissare alcun limite logico all'ignoto modo di agire di quella forza ordinatrice degli atomi. Delle cose conosciute si può dire a quanto valgano ed a quanto non; ma l'ignoto può sempre avere la sua parte, e noi possiamo solo introdurlo nelle nostre considerazioni, in quanto noi vediamo che esso tocca alla nostra esperienza. Secondo la nostra esperienza resta esclusa dalla formazione dei grandi tratti della superficie di un corpo celeste un'azione cristallizzante. I sistemi paralleli, che per quanto sappiamo la natura morta produce solo nei cristalli, rimangono quindi per Marte inspiegati da questo punto di vista, giacchè non possono venir resi concepibili in un qualche modo che abbia senso.

Le cose procedono ben altrimenti, quando si voglia ricorrere all'aiuto della natura organica. I fenomeni della natura organica sono così molteplici, complessi e meravigliosi, che da essa tutto ci possiamo aspettare. Si pensi qui, ad esempio, alle affermazioni del viaggiatore Mizon, il quale racconta che certe regioni deserte d'Africa sono attraversate fino per 400 km. da zone in forma di striscia, le quali sono coperte da vegetazioni, ed appaiono quindi più oscure dell'oceano sabbioso che le circonda; e nel loro atteggiamento complessivo, viste da una distanza planetaria, farebbero l'impressione dei canali di Marte. Lungo queste striscie errano le scimie da oasi ad oasi e spargono da ogni banda sulla loro via, semi, che coll'andare dei secoli hanno inghirlandato di verde la loro strada. Noi vediamo ovunque sulla Terra, come altri animali migratori siano costruttori di strade, ricordiamo solo il popolo delle formiche, e le vie di comunicazione che colle loro attive relazioni tra loro, tracciano fra le loro tane il castoro ed altri animali socievoli che vivono in dimore di terra, come il cane della prateria ed il gatto terragnolo che popola tutta l'America del Nord. Tutte queste vie, quando non vi si oppongano difficoltà del terreno, sono tracciate rettilineamente. Si potrebbe anche pensare a più estese peregrinazioni di grossi animali pascolanti, che siano su Marte collegate colle stagioni, come presso di noi quelle degli uccelli migratori. L'infrondare primaverile della vegetazione lungo queste vie di emigrazione, potrebbe chiarire l'apparizione dei *canali*. Ma tutti questi tentativi s'infrangono contro il meraviglioso parallelismo, e l'ordine sistematico di queste strade, che danno contezza evidente di un'azione unica dominante tutto il pianeta. Se anche molti animali percorrono la regione sopra strade rettilinee, che offrono loro contemporaneamente abbondanti mezzi di nutrimento, tuttavia non si può scorgere alcuna possibilità, nè sulla Terra alcun riscontro, che queste peregrinazioni avvengano esattamente in modo parallelo nelle più disparate contrade terrestri, o che l'intersecarsi delle strade avvenga sotto angoli affatto determinati. Solamente un'azione comune di tutti questi esseri può produrre un tale sistema. Ma quest'azione comune che unisce gruppi di esseri per un comune lavoro, noi la chiamiamo, anche quando l'incontriamo presso gli animali in modo più ristretto, intelligenza, dacchè fu esclusa da ogni indagine l'inafferrabile idea dell'istinto.

Così noi giungiamo finalmente alla persuasione apparentemente indimostrabile che solo *esseri intelligenti* possono direttamente od indirettamente avere creato i canali di Marte, ed inoltre, di fronte alla rete di strade che secondo un piano unico circonda tutto il pianeta, dobbiamo essere convinti che essi sono degli esseri di elevata intelligenza, le cui opere a noi traluceno dalla distanza dei corpi celesti.

Siano poi questi collegamenti da riguardarsi come comunicazioni per acqua, quali veri canali, o come strade di terra, pur sempre ci deve rendere stupiti la loro enorme grandezza, che d'altra parte rende ancora più difficile il capire la loro disposizione economica. Ora, per non irretirci nei lacci della fantasia, dobbiamo solamente riconoscere relazioni che trovino il loro riscontro sulla Terra, ma oltrepasseremmo notevolmente i confini tracciati, se concedessimo la possibilità che su Marte esseri intelligenti possano avere costrutto canali o strade, la cui larghezza supera 30 km. e più. Ciò eccede la nostra forza di concepimento del pari che la nostra capacità di lavoro, anche per ciò che riguarda il fondamento

della loro necessità. Ma si può dimostrare senza difficoltà, che anche senza l'opera dei loro costruttori poteva su quel pianeta avvenire un allargamento di strade prima normalmente tracciate, che anzi, in certe circostanze, doveva avvenire anche contro la loro volontà. Ammettiamo che siano stati realmente scavati dei canali di larghezza normale nella direzione nella quale noi vediamo correre quelle larghe striscie. Quando sopra un emisfero incomincia lo squagliamento delle nevi, l'acqua sovrabbondante scorre per essi all'altro emisfero, ma però passando dai mari e dai bassi fondi, che sono contemporaneamente divenuti mari, nella Terra. Questo trasporto d'acqua per mezzo dei canali deve essere assai considerevole, poichè le masse lucenti e gialle, che in questo modo di vedere dobbiamo riguardare come terre deserte, aride e sterili, e che formano attorno al pianeta una cintura chiusa, non sono interrotte da alcun mare aperto. L'enorme movimento d'acqua che si verifica presso di noi tra l'emisfero che ha l'estate e quello che ha l'inverno, che su Marte deve essere più debole, ma però ancora molto ragguardevole a motivo delle grandi estensioni delle calotte polari, si rinserra naturalmente entro ai canali e li corrode costantemente sempre più. Se la terra gialla di Marte è realmente una regione deserta sabbiosa, queste corrosioni prenderanno ben presto una grande estensione, e lungo questi canali si formeranno dei tratti, quali i campi fertili che il Nilo innonda ogni anno. Una rigogliosa vegetazione fiorirà qui, e andrà man mano invadendo nuove regioni del deserto sulle due sponde del canale. Quando in primavera i canali cominciano di nuovo a riempirsi d'acqua, anche la vegetazione si avviva, gli alberi s'infrondano cupi, il corso del canale, che di per sè sarebbe troppo sottile, e tanto che noi non potremmo avvertirlo, ci viene rivelato dalla natura risvegliata che da esso unicamente ripete la sua nuova vita. Con ciò il modo di essere di un canale è spiegato semplicemente con analogia a condizioni terrestri. L'opinione svolta è stata, per quanto ci consta, emessa per la prima volta da Törnebohm in Stoccolma, dopo alcuni parziali accenni dell'autore nel medesimo senso.

Alcuni fatti osservati insegnano inoltre, che i cosi detti canali non hanno però, nel senso della loro larghezza, una costruzione completamente regolare, e quindi non sono per intiero riempiti d'acqua. Per questo riguardo è particolarmente molto istruttiva un'osservazione che Schiaparelli fece durante l'opposizione 1879-80. A nord di Taumasia nella regione gialla che Schiaparelli denominò Tharsis, si vide una striscia bianca dipartirsi dalla calotta di neve settentrionale, come altre già descritte precedentemente. La striscia si sovrapponeva ai canali della regione, fra i quali allora il Nilo particolarmente era doppio e molto largo. Schiaparelli allora stette ben attento per vedere se la striscia bianca manifestamente efimera sarebbe stata interrotta dai canali, o se le linee oscure separassero la striscia. Se i canali sono pieni d'acqua, e se la striscia ripete il suo colore bianco dalle precipitazioni, che ad una data temperatura si sciolgono sul prodotto oscuro che quei canali ricevono, allora la neve di Marte dovrebbe perdersi in quei canali, i quali dovrebbero rigare d'oscuro la striscia bianca. Per contro se le linee oscure derivano unicamente da una colorazione più cupa della regione, conseguenza di una qualsivoglia manifestazione della natura organica, sarebbe allora ancora possibile, che il bianco prodotto dalle precipitazioni si depositasse sopra quella contrada e con ciò interrompesse i cosi detti canali. Noi scorgiamo distintamente dallo schizzo

PAESAGGIO IDEALE SUL PIANETA MARTE

della loro necessità. Ma si può dimostrare senza difficoltà, che anche senza l'opera dei loro costruttori poteva su quel pianeta avvenire un allargamento di strade prima normalmente tracciate, che anzi, in certe circostanze, doveva avvenire anche contro la loro volontà. Ammettiamo che siano stati realmente scavati dei canali di larghezza normale nella direzione nella quale noi vediamo correre quelle larghe striscie. Quando sopra un emisfero incomincia lo squagliamento delle nevi, l'acqua sovrabbondante scorre per essi all'altro emisfero, ma però passando dai mari e dai bassi fondi, che sono contemporaneamente divenuti mari, nella Terra. Questo trasporto d'acqua per mezzo dei canali deve essere assai considerevole, poichè le masse lucenti e gialle, che in questo modo di vedere dobbiamo riguardare come terre deserte, aride e sterili, e che formano attorno al pianeta una cintura chiusa, non sono interrotte da alcun mare aperto. L'enorme movimento d'acqua che si verifica presso di noi tra l'emisfero che ha l'estate e quello che ha l'inverno, che su Marte deve essere più debole, ma però ancora molto ragguardevole a motivo delle grandi estensioni delle calotte polari, si rinserra naturalmente entro ai canali e li corrode costantemente sempre più. Se la terra gialla di Marte è realmente una regione deserta sabbiosa, queste corrosioni prenderanno ben presto una grande estensione, e lungo questi canali si formeranno dei tratti, quali i campi fertili che il Nilo innonda ogni anno. Una rigogliosa vegetazione fiorirà qui, e andrà man mano invadendo nuove regioni del deserto sulle due sponde del canale. Quando in primavera i canali cominciano di nuovo a riempirsi d'acqua, anche la vegetazione si avviva, gli alberi s'infrondano cupi, il corso del canale, che di per sè sarebbe troppo sottile, e tanto che noi non potremmo avvertirlo, ci viene rivelato dalla natura risvegliata che da esso unicamente ripete la sua nuova vita. Con ciò il modo di essere di un canale è spiegato semplicemente con analogia a condizioni terrestri. L'opinione svolta è stata, per quanto ci consta, emessa per la prima volta da Tornebohm in Stoccolma, dopo alcuni parziali accenni dell'autore nel medesimo senso.

Alcuni fatti osservati insegnano inoltre, che i così detti canali non hanno però, nel senso della loro larghezza, una costruzione completamente regolare, e quindi non sono per intiero riempiti d'acqua. Per questo riguardo è particolarmente molto istruttiva un'osservazione che Schiaparelli fece durante l'opposizione 1879-80. A nord di Taumasia nella regione gialla che Schiaparelli denominò Tharsis, si vide una striscia bianca dipartirsi dalla calotta di neve settentrionale, come altre già descritte precedentemente. La striscia si sovrapponeva ai canali della regione, fra i quali allora il Nilo particolarmente era doppio e molto largo. Schiaparelli allora stette ben attento per vedere se la striscia bianca manifestamente efimera sarebbe stata interrotta dai canali, o se le linee oscure separassero la striscia. Se i canali sono pieni d'acqua, e se la striscia ripete il suo colore bianco dalle precipitazioni che ad una data temperatura si sciolgono sul prodotto oscuro che quei canali ricevono, allora la neve di Marte dovrebbe perdersi in quei canali, i quali dovrebbero rigare d'oscuro la striscia bianca. Per contro se le linee oscure derivano unicamente da una colorazione più cupa della regione, conseguenza di una qualsivoglia manifestazione della natura organica, sarebbe allora ancora possibile, che il bianco prodotto dalle precipitazioni si depositasse sopra quella contrada e con ciò interrompesse i così detti canali. Noi scorgiamo distintamente dallo schizzo

PAESAGGIO IDEALE SUL PIANETA MARTE

Eseguito da *W. Kranz*.

tracciato allora, che in un certo senso avvennero le due cose, poiché il Nilo geminato, là ove passava sotto la striscia bianca, divenne notevolmente più sottile. Ciò s'accorda eccellentemente colle nostre vedute intorno a questi oggetti: poiché là, ove nella regione delle inondazioni la vegetazione si era già sviluppata, essa veniva di nuovo temporaneamente coperta da una nevicata primaverile: nel mezzo, per contro, ove vi sta veramente dell'acqua nei luoghi profondi, la neve si squagliava.

Fig. 78. — Il Nilo geminato su Marte, attraversato da una striscia bianca; disegnato da G. Schiaparelli (1879-80).

Riassumendo in un complesso tutte le cognizioni che noi abbiamo acquistate sulla costituzione fisica dell'interessante pianeta nostro vicino, potremo con grande probabilità affermare, che su quel mondo circola un liquido, in un ciclo di trasformazioni simile a quello dell'acqua presso di noi, e che inoltre questo fluido, anche relativamente alla mole di quel mondo, esiste in quantità molto minore dell'acqua sulla Terra, e che per conseguenza nella vicenda delle stagioni copre molte bassure solo temporaneamente, e forma solo in pochi luoghi dei mari permanenti: che ancora, quelle bassure, nel tempo nel quale sono più fornite di quel liquido, presentano dei caratteri che hanno molte somiglianze con quelli dello svolgimento della nostra vegetazione, per quanto a noi ci è dato di riconoscerlo alla distanza che ci separa da Marte. Per contro le regioni gialle non mai percorse dal liquido oscuro stanno in una sterile immutabilità, solamente attraversate da vie che esseri intelligenti a mezzo di un sistema di canali fertilizzanti ben ponderatamente con grandezza ed unità tracciato sopra tutto il pianeta, hanno riconquistato alla vita (vedi la tavola colorata).

Se noi ci famigliarizziamo con questa ipotesi, togliamo anche una gran parte della sua prodigiosità alla temporanea geminazione dei canali, che è apparenza così strana e altrimenti non spiegabile del mondo di Marte: i supposti esseri intelligenti videro un giorno come, per mezzo dei canali d'irrigazione, fosse ridestata alla vita la Terra deserta già apparentemente caduta nella morte eterna, ed ebbero facilmente l'idea di riprodurre a brevi distanze dei corsi paralleli, affinchè man mano gli spazi intermedi di terra deserta potessero essere resi di nuovo produttivi. Ad ogni modo ci sembra, che le molte e complicate spiegazioni proposte, che o riguardano le geminazioni come illusioni ottiche, simili a quelle prodotte dal nostro spato d'Islanda, le cui proprietà dovrebbero essere possedute dall'atmosfera di Marte; ovvero le ritengono prodotte da vapori, che nel mezzo di larghe spaccature oscure (i canali) formano una separazione bianca, e simili, siano fatica del tutto sprecata, finchè in questi tentativi di spiegazione non si tien conto anche contemporaneamente dei canali paralleli che si trovano prolungati a grandi distanze fino a luoghi situati agli antipodi. Non vi è ragione alcuna per ritenere che questi siano stati generati diversamente da quelli paralleli più vicini.

In quanto precede il paragone colla nostra acqua fu istituito con buoni criteri, ma senza affermare l'identità di quel liquido su Marte colla nostra acqua. Alcuni accurati osservatori hanno persino posto generalmente in questione la possibilità

dell'esistenza su Marte di acqua in forma liquida, giacchè il pianeta in causa della sua posizione rispetto al Sole riceve dall'astro centrale solo i $^{3}/_{7}$ del calore che a noi viene inviato. Inoltre dovrebbe apparire strano, che con una circolazione così manifestamente attiva di quella sostanza che produce le calotte polari, si notino solo nubi o formazioni di nebbie molto dubbie. Noi non possiamo immaginare la circolazione dell'acqua sulla nostra Terra, senza nubi che per dei mesi ricoprono o lasciano solo raramente visibili delle intiere zone terrestri. Per ciò si è avvertito che l'acido carbonico, a temperature molto più basse di quelle che producono i nostri climi, all'incirca fra 50 e 100 gradi sotto zero, mostra delle apparenze che potrebbero spiegare una parte delle constatazioni fatte su Marte, senza necessitare la formazione di nubi. L'acido carbonico forma una neve bianca, che a temperature sufficientemente basse si precipita senza formazione di nebbia, da un gas incoloro: però l'acido carbonico diviene liquido solamente sotto pressioni molto elevate. In questo concetto però i fenomeni delle inondazioni che avvengono in modo straordinariamente notevole dovrebbero venir chiariti in altro modo, del pari che i procedimenti che sono collegati colla vita di un mondo vegetale che noi possiamo comprendere. Fu di recente provato a mezzo di esperimenti, che anche in un'atmosfera priva di ossigeno possono vivere delle piante, atmosfera che consiste in massima parte di acido carbonico, poichè esse potrebbero prosperar meglio in codesta, analoga a quella che forse avvolgeva il nostro globo all'epoca della formazione del carbone fossile, che non nell'attuale; ma sotto tutte le condizioni il vapore acqueo deve esservi contenuto in quantità considerevole.

Ci sembra, tuttavia, che per supplire alla difficoltà della scarsa provvigione di calore, non sia necessario ricorrere al sussidio dell'acido carbonico. Secondo le ricerche di Langley ed altri, la nostra atmosfera assorbe circa la metà del calore solare che ci è irradiato per mezzo delle nubi, del pulviscolo e segnatamente a mezzo della conversione del calore in lavoro meccanico, durante i vari processi meteorologici. Ma l'atmosfera di Marte è senza dubbio molto più pura della nostra, e come vedemmo anche più sottile; perciò anche l'assorbimento deve necessariamente essere molto minore. D'altra parte, ammettendo che la densità di Marte sia i $^{2}/_{5}$ di quella della nostra, il che probabilmente è ipotesi troppo arrischiata, Maunder ha calcolato che sulla superficie di Marte l'acqua deve passare allo stato di vapore già alla temperatura di 46 gradi centigradi (Campbell aveva, come si disse, assegnato come ultimo limite ammissibile $^{1}/_{4}$). Il risolversi del vapor d'acqua nell'atmosfera cola è quindi di molto facilitata. Noi possiamo paragonare le condizioni sulla superficie di Marte con quelle che prevalgono sulle nostre più alte vette dei monti, solo colla differenza, che queste si slanciano isolate nell'oceano aereo, mentre su Marte l'irradiazione insolitamente potente che subisce la superficie, deve riscaldare fortemente gli strati sovrastanti immediatamente. Chi ha asceso qualche volta un alto monte, e si trovò nel campo illuminato dal sole, deve avere provato, come i raggi del Sole agiscano cola energicamente sopra ogni corpo. Sotto ogni aspetto, l'atmosfera agisce per noi come uno schermo. Di giorno essa trattiene una grossa parte del calore inviato a tutto il pianeta, e forma per ciò lo schermo delle nubi; ma nella notte tiene lontano dalla superficie abitata il gelido freddo dello spazio celeste. Sopra Marte ciò si verifica solo in misura molto ristretta. Di giorno la regione terrestre sarà fortemente riscaldata, e si renderà

così libero il vapore d'acqua, d'altronde in quantità non ragguardevole. Non appena il Sole è disceso sotto l'orizzonte arriva il freddo dello spazio cosmico e condensa il vapor d'acqua in nebbie e nubi, dalle quali esso precipita in neve. I primi raggi del Sole dissipano di nuovo le nebbie.

Il 25 e 26 novembre 1894 Douglass constatò un fatto che sembra confermare queste condizioni che si deducono con sicurezza dall'ipotesi di un sottile involucro aereo. Egli vide infatti alquanto al di là del terminatore, cioè separato dal disco lucente del pianeta, una striscia chiara, che era lunga circa 225 km. e larga 65, e si manteneva ovunque ad eguale distanza dal terminatore. L'apparizione aveva delle fluttuazioni, essa veniva e svaniva, finchè dopo circa 30 minuti era scomparsa. La cosa si ripetè nella sera seguente; ma la striscia, che si librava alquanto sopra la Protei Regio, si era spostata di 9 gradi verso Nord. Qui evidentemente non si trattava di una forma solida superficiale, ma di un'apparizione passeggera, che era sospesa sopra la superficie, e la cui altezza poteva calcolarsi di 30 km. circa. Forse si rese visibile il lembo esterno di quel velo di nebbie, che di notte tempo si stende sulla superficie di Marte; il suo mostrarsi e scomparire dà indizio del lavoro di risoluzione che i raggi solari esercitavano in quella località limite.

Nel complesso noi vediamo che in principio nessun ostacolo essenziale si oppone all'esistenza sopra Marte dell'acqua nei suoi tre stati d'aggregazione. Quindi tutte le altre conseguenze che se ne deducono rimangono pure valevoli. La più interessante di tutte fu per noi ad ogni modo l'esistenza di esseri intelligenti su quel mondo nostro vicino. Ma appunto in causa di questo vivo interesse, che eccita più il nostro sentimento che la nostra mente col pensiero che ci fa supporre colà fratelli in ispirito, in più elevato movimento di vita, noi dobbiamo andare intorno a ciò molto cauti. Dalla distribuzione ragionevole della disposizione dei canali si potrebbe solamente dedurre, nella migliore ipotesi, che colà una volta regnavano esseri intelligenti. Ma i canali stanno pronti innanzi a noi, e la loro enorme estensione, la quale, secondo il nostro modo di vedere, non può essere attribuita che alla natura, ci mostra che essi da molto tempo sono all'ordine. Niente per contro ci attesta che vivano ancora i geniali costruttori che si sono preparati tali monumenti visibili a distanze planetarie. Sia che oggi ancora vivano colassù esseri intelligenti, o sia che in causa dell'assottigliarsi dell'aria, che è inevitabile nei grandi processi dell'evoluzione cosmica, le condizioni della vita siano cessate per quegli esseri, questo non monta, però è certo che noi non abbiamo ricevuto di colà nessun vero segno di vita sotto forma di segnali luminosi, che soli ci potrebbe dare un telegrafo interplanetario. In questi ultimi tempi furono escogitati vari mezzi per ottenere una simile comunicazione, ed una signora francese ha esclusivamente per questo scopo lasciato all'Accademia di Parigi un legato di 100 mila franchi.

Precisamente nell'epoca, nella quale alcune menti fantasiose si sforzavano di stanar fuori un mezzo per poter aprire la desiderata comunicazione interplanetaria, alcuni osservatori forniti di potenti cannocchiali videro sul terminatore di Marte alcune sporgenze lucenti speciali, che erano troppo durevoli per poter essere prese per ammassi di nubi; sembrava che grandi regioni del pianeta, non appena la notte era scesa su di essi, divenissero luminose. Però questi luoghi non si potevano senz'altro riguardare come vette di monti, le quali fossero ancora illuminate

dalla luce del Sole, come se ne vedono spesso di simili al di là del terminatore lunare. Se si ammettesse ciò, si giungerebbe a montagne alte da 30 a 60 km., le quali sarebbero ancora troppo improbabili. Perciò per molti rimase certo che noi avevamo ricevuto da quel mondo lontano dei segnali di fiamma. Ma, pur troppo, ciò non fu confermato. Campbell ha dato di queste eruzioni di luce una chiara spiegazione, nella quale esse vengono caratterizzate come estese ed elevate regioni piane. Già prima erano stati visti sul pianeta dei luoghi lucenti, i quali lo divenivano tanto più quanto più si accostavano all'orlo ed al terminatore; ma non furono mai visti sporgere sul terminatore: ciò fu notato per la prima

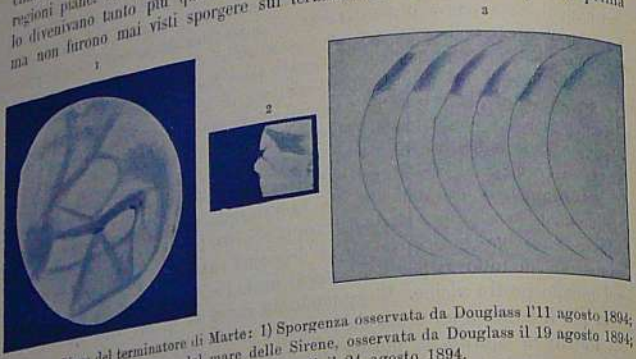


Fig. 79. — Linea del terminatore di Marte: 1) Sporgenza osservata da Douglass l'11 agosto 1894; 2) Sporgenza in vicinanza del mare delle Sirene, osservata da Douglass il 19 agosto 1894; 3) Nervature osservate all'Osservatorio Lowell il 24 agosto 1894.

volta sul Monte Hamilton il 5 e 6 luglio 1890. Nelle due opposizioni seguenti del 1892 e 1894 essi furono ripetutamente avvertiti dagli astronomi in Arizona ed Arequipa, da Perrotin in Nizza, da Flammarion ed altri. I nostri disegni provenienti da Douglass e W. Pickering riproducono l'aspetto di queste sporgenze, ossia mostrano il contorno del terminatore anche là dove si potevano nettamente distinguere dei rientramenti. Le prominenze lucenti si presentarono sempre sole in determinate regioni, e precisamente solo in quelle regioni gialle, che noi consideriamo come terre; una sta nella contrada denominata Tempe, al nord di Tanmasia e Tarsi, una seconda su Noaches, una terza nelle vicinanze del mare delle Sirene. Quando uno di tali luoghi riapparve dopo due anni, durante una seconda opposizione, esso aveva ancora sempre la stessa posizione. Campbell dà la seguente semplice spiegazione del fenomeno: " Il giorno 11 aprile 1892 Marte distava da noi di 63 millioni di km. Noi potevamo adoperare ingrandimenti da 350 a 520, essi ci portano il pianeta rispettivamente a distare da noi di 180.000 e 120.000 km. La nostra Luna dista da noi più di due volte 180.000 km. e più di tre volte 120.000 km. Tuttavia noi possiamo, ad occhio nudo, discernere sul terminatore della Luna delle protuberanze, che sono prodotte da catene di monti e da grandi crateri ". Nell'ipotesi che si tratti di catene di monti estese in lunghezza, si trova, in uno dei casi, per esse la lunghezza di 140 km. e l'altezza di 3.04 km.

Ma quando su Marte esistano dei monti, in favore del che parlano le apparizioni passeggere di certe regioni, ed i punti bianchi che talvolta si separano dalle calotte polari, come è reso manifesto dai disegni stati eseguiti da Green nell'anno 1877 (vedi Fig. 80) allora vi saranno anche valli. Le incurvature del terminatore (vedi Fig. 79, 3) quali furono disegnate da Pickering, attestano di ciò. Mentre le proeminenze si presentarono solo nelle regioni gialle, le incurvature sono rivolte alle regioni oscure, con che si conferma la nostra opinione, che questi ultimi abbassamenti non siano mari permanenti. Nel 1892 e 1894 si osservò un'apparenza che deve riguardarsi come un indizio di una depressione o valle. Pickering descrive come segue quella del primo anno. " Quando la neve squagliantesi fu limitata ai poli, si vide una regione ristretta quasi rettilinea, ove essa s'indugiò più che altrove. Alla fine di settembre la regione nevosa era divisa in due parti, delle quali una lunga e sottile, l'altra di forma irregolare ed alquanto a chiazze. All'aspetto quasi si sarebbe detto che ciò provenisse da una catena di montagne, od altrimenti da una regione di alture irregolari, fra le quali giacesse una valle. Da questa valle si diparti in luglio una linea oscura, che si riunì col mare „. Più tardi questa linea oscura si biforcò nella regione nevosa, così che assunse l'aspetto di un Y. Nel 1894 l'Y riapparve e fu disegnato da Pickering (Fig. 81). Quando nel 1896-97 la calotta polare Nord, dopo una lunga assenza ritornò ad essere di nuovo visibile, si mostrò una apparenza affatto simile.

Fig. 80. — Punti lucenti nelle vicinanze della calotta polare sud di Marte, disegnati da Green l'8 settembre 1877.

Fig. 81. — L'Y sulla calotta polare sud di Marte, disegnato nel 1894 da W. Pickering.

Noi vediamo come ad ogni accrescimento dei dettagli d'osservazione i tratti generali del quadro del mondo di Marte si delineano più chiaramente. Sembra perciò che colle nostre interpretazioni di quanto si vede, noi siamo sopra la giusta via, sebbene oggi a tal riguardo non sussista ancora certezza di sorta. Non ci rimane quindi altro, che dire con Schiaparelli: " Dobbiamo anche confidare un poco in ciò, che Galileo chiamava la *cortesia della natura*, in grazia della quale talvolta da parte inaspettata sorge un raggio di luce ad illuminare argomenti prima creduti inaccessibili alle nostre speculazioni; di che un bell'esempio abbiamo nella chimica celeste. Speriamo adunque e studiamo „.

L'11 agosto 1877 in Washington, Asaph Hall, coll'aiuto di quello che allora era ancora il più grande cannocchiale del mondo, vide una stella estremamente piccola nelle vicinanze di Marte. All'aspetto essa non si distingueva da quei millioni di altre piccolissime stelle, che un così gigantesco telescopio rivela allo sguardo umano, e delle quali se ne vedono sempre alcune, qualunque sia la direzione nella quale si rivolge quel mezzo di visione. Unicamente la circostanza, che questa piccola stella rimaneva sempre nelle vicinanze del pianeta, e quindi condivideva il movimento, che questo compie tra le altre stelle nel suo corso sinodico intorno al Sole, dimostrò che essa doveva stare in diretta dipendenza col pianeta. Il che si

manifestò anche da ciò, che la stella accompagnante il pianeta, non lo seguiva esattamente, ma procedeva ora più lentamente ora più rapidamente, così che essa era vista talvolta a destra talvolta a sinistra di Marte, ma non oltrepassava mai una distanza massima. In breve, la stellina manifestamente girava attorno al pianeta: quindi essa doveva essere una luna di Marte. Il 17 agosto Hall, mentre stava tenendo dietro alla stellina scoperta sei giorni prima, ne osservò una seconda che stava ancora più dappresso al pianeta, e mostrava le stesse proprietà. Le due lune di Marte erano scoperte: esse furono più tardi chiamate Deimos e Phobos, Spavento e Terrore, i figli e compagni del Dio della guerra (*a*).

Ma questa scoperta non fu per nulla accidentale. Hall utilizzò la posizione di Marte eccezionalmente favorevole rispetto a noi, che si verificò nel 1877 e che ritorna solo ogni 15 anni, e si valse della potenza allora insuperata del suo cannocchiale, per decidere la questione che da duecento anni era stata molte volte sollevata dell'esistenza dei satelliti di Marte. È curioso il ricordare che già nell'anno 1726 Swift, nel suo famoso fantastico libro " I viaggi di Gulliver „, parlava di un popolo, che con telescopi molto più piccoli, ma che mostravano gli oggetti celesti molto più grandi e più distinti, avevano scoperto due Lune di Marte, delle quali la più interna distava dal pianeta tre diametri di esso, la più esterna cinque. In realtà la distanza del secondo satellite di Marte è precisamente quella che Swift pel primo aveva indicato di propria fantasia. Swift assegna alla rivoluzione del primo satellite una durata di dieci ore, quella vera importa 7 ore e 41 minuti, quella del secondo, 30 ore e $^1/_4$, mentre quella assegnata ad esso dal menzionato poeta era di 21 ore e $^1/_2$. Nel caso precedente questo indovinamento, ben considerato, non appare molto strano. Da lungo tempo si cercava un satellite o più di Marte. La Terra possiede una luna, Giove quattro. Nel giuoco coi numeri, che i filosofi una volta coltivavano con predilezione, era facile, e doveva pur essere indovinato una volta, l'immaginare che Marte avesse due lune, poichè si era assegnata la serie dei numeri 1, 2, 4 ai pianeti succedentisi l'uno all'altro. Che inoltre questi satelliti dovessero trovarsi molto vicini al pianeta, era da supporsi data la piccolezza di questo. Ma indovinate una volta le distanze di tre e cinque diametri, da esse e dalla terza legge di Keplero derivavano senz'altro le durate delle rivoluzioni. Impareremo più tardi questa legge di Keplero.

Ma tuttavia i supposti satelliti di Marte non furono scoperti fino ai tempi di Hall. Herschell, Maedler, D'Arrest li cercarono con tutto lo zelo, e l'ultimo potè dichiarare nettamente che non poteva esistere alcun satellite di Marte che superasse la forza di luce della così detta dodicesima classe di grandezza delle stelle, e che durante la sua rivoluzione intorno al pianeta non si allontanasse da esso

---

(*a*) In realtà non sono nè i figli nè i compagni di Marte, ma i suoi scudieri o staffieri, perchè i versi dell'*Iliade* di Omero nei quali figurano quei nomi, così suonano nella traduzione di Vincenzo Monti:

" Disse, e alla Fuga impose e allo Spavento
" D'aggiogargli i destrieri, e di fiammanti
" Armi egli stesso si vestiva... „.

(*Iliade*, lib. XV, v. 143).

(Nota di O. Z. B.).

di almeno 20 o 24 diametri del pianeta. In prossimità maggiori però un così minuto punto luminoso non poteva più essere scorto col cannocchiale di D'Arrest, perchè colà la piena luce del pianeta illuminava troppo il fondo del cielo. Queste investigazioni ebbero luogo nel 1864.

Dopo queste ricerche, Asaph Hall, quando si valse dell'opposizione eccezionalmente favorevole del 1877 per cercare ancora una volta le lune di Marte, potè senz'altro limitare essenzialmente il suo campo d'indagine. Egli cercò quindi solamente maggiori vicinanze del pianeta, dove egli aveva più forte probabilità del suo predecessore D'Arrest, di vedere un oggetto molto piccolo. A vero dire a seconda delle considerazioni da noi istituite più avanti sull'azione del cannocchiale, sembra a tutta prima che un grande strumento di luce più intensa non possa in cotali ricerche offrire alcun vantaggio essenziale, poichè il fondo lucente del cielo deve contemporaneamente venir rinforzato in proporzione dalle maggiori lenti. Ma a tal proposito, giova por mente a quanto segue: dal fondo chiaro del cielo giunge al nostro occhio un certo numero di atomi luminosi, si tratta quindi di computare se sopra un elemento della retina, in un tempo eguale, succedano più urti che sopra i rimanenti. Si supponga ora che quell'oggetto, dal quale si diparte il numero più grande, sia così piccolo, che sempre un atomo solo percuota in modo simile un elemento della retina. Ma sullo stesso elemento giungono dal fondo chiaro del cielo migliaia di urti di atomi, e la sua sensibilità non è più abbastanza viva per avvertire la differenza esistente da circa 1000 a 1001. Così era appunto avvenuto con il cannocchiale di D'Arrest. Hall però, in grazia della maggiore forza di luce del suo strumento, poteva adoperare ingrandimenti più elevati. Ma un ingrandimento di forza doppia distende un egual campo nel nostro occhio sopra un'estensione quadrupla, pertanto sopra un'eguale superficie della retina giungono quattro volte meno urti luminosi, e nel nostro caso quindi solamente 250 invece di 1000. In queste circostanze quella maggiore vibrazione luminosa può più facilmente passare la soglia della nostra sensibilità. Si rammenti a tal riguardo la legge psico-fisica che esponemmo a pagina 64. A ciò si aggiungono ancora altre azioni fisiologiche, che nelle vicinanze di forti eccitamenti luminosi rendono la nostra retina insensibile alle deboli azioni, e che coi più forti ingrandimenti debbono naturalmente venire diminuite, poichè con ciò l'immagine di Marte viene assai più allontanata dal puntino luminoso che si vuol scoprire.

L'immenso vantaggio dell'istrumento più potente si vide subito. In principio dell'agosto 1877 Hall aveva incominciato il suo lavoro di ricerca, ma solo il 10 egli rivolse il suo apparecchio al più vicino di tutti i pianeti, ed il giorno dopo egli aveva veduto una luna di Marte.

Dopo che i satelliti furono scoperti, si riuscì a vederli anche in cannocchiali di luce molto più debole; fatto assai comune, e che si ripete sempre quando in precedenza si conosce con sufficiente approssimazione la posizione dell'oggetto. L'occhio allora non vaga più inquieto cercando all'intorno, e l'onda luminosa ha tempo di percuotere ripetutamente il medesimo elemento sensibile. Di più si può rivolgere la posizione sensibile della macchia gialla della nostra retina al raggio luminoso, e concentrare tutta l'attenzione sull'impressione luminosa che si vuol ricevere. A vero dire ciò avviene anche talvolta quando si crede di aver ricevuto delle impressioni che in realtà non ebbero luogo. Quella notevole apparenza, che è

il luccicare di piccole stelle, che in realtà non esistono, non è altro che una delle tante allucinazioni, cui vanno soggette le persone nervose quando subiscono un'azione speciale sulla loro volontà; esse provengono manifestamente da uno stato di eccitamento nervoso, che esercita una tensione straordinaria nel sistema nervoso molto più addentro della retina, sul percorso tra questa ed il centro comune della percezione. Per tali azioni è assai facilmente possibile, che ad esempio un osservatore, che sa esattamente la posizione nella quale un altro ha visto su Marte un sistema di canali, creda di vederlo egli pure distintamente, mentre in realtà esso è nel frattempo scomparso. Pertanto quando si tratta di oggetti che si trovano al limite della nostra facoltà di percezione, si ha buon fondamento per dubitare della realtà di una osservazione, sia questa anche proveniente dal più esperto degli investigatori, sino a che essa sia stata confermata da un secondo osservatore che non sapesse in precedenza di che si trattava. Schiaparelli, che per lungo tempo fu il solo che avesse visto i canali di Marte e poi la loro geminazione, era perciò ben lontano dall'attribuire un carattere personalmente offensivo ai dubbi sulla sua scoperta, che furono spesso emessi dai suoi colleghi. Egli aspettò tranquillamente che uno dopo l'altro confermassero rigorosamente le sue osservazioni, così che oggi gli astronomi sono unanimi nell'ammirare la facoltà d'osservazione di quest'uomo, che con mezzi relativamente insignificanti (egli a quel tempo non possedeva che un refrattore di Merz di otto pollici, cent. 20 circa, di apertura) riuscì a mettere in luce assai più delle meravigliose particolarità di questo mondo vicino, che non avessero fatto altri coll'aiuto dei più potenti apparecchi di ricerca. Le osservazioni di Marte riportate in quanto precede, istituite negli ultimi anni, hanno tanto maggior forza di persuasione, in quanto che esse lo furono in due o più luoghi d'osservazione situati nelle diverse parti della Terra. Gli investigatori lavoravano quindi affatto indipendentemente gli uni dagli altri, e spesso notavano sul curioso pianeta nostro vicino lo stesso fatto nel medesimo tempo.

I satelliti di Marte, che come dicemmo furono invano cercati da D'Arrest con un cannocchiale di 11 pollici (28 cm. circa), e produssero per la prima volta un'impressione sopra un occhio umano armato di un tubo ottico di una forza di luce cinque volte maggiore, furono più tardi notati ancora da Trouvelot con un cannocchiale ridotto a non avere più che 5 pollici (13 cm. circa) d'apertura, e il visitatore d'occasione dell'osservatorio Lick li vede come oggetti notevoli.

Del resto intorno a questi piccolissimi corpi celesti ben poco ci rimane a dire. Come si comprende facilmente, essi ci appaiono affatto senza diametro, così che per la loro reale grandezza al più si potrebbe dare un limite superiore, qualora si calcolasse quanto dovrebbero essere grandi, affinchè visti da noi mostrassero ancora un diametro percettibile. Ma la fotometria celeste ne porge ancora un altro mezzo per determinare questa grandezza con probabilità d'alcun poco maggiore. Nella supposizione cioè che l'*albedo*, ossia la facoltà di rinviare la luce solare, per la superficie di queste Lune sia così grande come per la superficie del pianeta intorno al quale esse circolano, si potrebbe calcolare quanto estesa dovrebbe essere una superficie, perchè dalla distanza dei satelliti di Marte, irradiasse tanta luce quanta ne riflettono in realtà. A questo modo si ottiene per Phobos, che sembra un poco più lucido del suo vicino, un diametro di soli 9 ½ km. o

per Deimos uno di soli 8 km. Essi sono quindi di gran lunga i più piccoli corpi celesti permanenti che noi conosciamo. La loro superficie copre appena 300 kmq. I principati di Reuss del ramo più antico o Schaumburg-Lippe, non capirebbero sopra uno di questi corpi celesti. Anche veduti da Marte, quei satelliti non possono che sembrare molto piccoli, sebbene siano ad esso così prossimi. La distanza dalla superficie di Marte del satellite più vicino è appena tanto grande quanto la distanza tra Berlino e Nuova York, ma visto a tale lontananza Phobos non ha più di tre minuti di diametro, esso è quindi dieci volte più piccolo di quello che ci appare la nostra Luna. Da Marte il maggior satellite non apparirà più grosso che Venere a noi.

Non è ancora qui il luogo di parlare di tutti gli altri curiosi fenomeni che presentano i satelliti di Marte, in causa del loro movimento straordinariamente rapido di rotazione attorno al pianeta. Vi ritorneremo nel settimo Capitolo della seconda Sezione.

5. I piccoli pianeti.

Se noi dovessimo condurre la nostra ricerca e la nostra investigazione del cielo, in quel modo intieramente conseguente, che nulla presuppone che non si sia come presentato da sè nella serie delle conclusioni consecutive sopra ciò che si vede, questo Capitolo, su quel gruppo di minuti corpi planetari che formano un anello tra Marte e Giove, dovrebbe essere relegato fra gli ultimi dell'astronomia descrittiva. Giacchè questi corpi celesti non per altro si distinguono, che per i loro movimenti, dall'innumerevole schiera di minime stelle, che appena ci interessano, per ciò che a mezzo della loro distribuzione sul firmamento possiamo cercare di dedurre qualche cosa circa la costruzione di un massimo sistema del mondo. Ma lo studio di questi movimenti ci occuperà solo nella seconda Sezione di questo lavoro.

Per abbozzare qui un'immagine caratteristica di un piccolo pianeta, non possiamo fare meglio che riprodurre una di quelle fotografie sulle quali oggi si scoprono questi corpi. Noi vi scorgiamo un numero di punti più larghi e più stretti, che le stelle fisse della corrispondente plaga celeste vi produssero, ed una piccola striscia. Questa striscia è la traccia di un piccolo pianeta. La lastra è il prodotto di parecchie ore di esposizione, durante le quali l'osservatore con un controllo incessante curò, che ogni stella che rimane fissa, colpisse sempre colla sua luce lo stesso punto della lastra. Durante questo tempo quindi, un punticino luminoso che si movesse fra le stelle deve produrre una linea; questa è l'unico indizio, al quale si può riconoscere il pianeta. Ora poichè le posizioni delle stelle fisse che si disegnarono sulla lastra, rispetto a certi punti fissi della volta celeste o sono note esattamente o si possono determinare, così a mezzo di una susseguente misura della posizione della striscia del pianeta, si può facilmente riconoscere se si abbia a che fare con un membro già conosciuto del gruppo, la cui

orbita fu calcolata in precedenza, o se si fu così fortunati da aggiungerne uno nuovo alla numerosa compagnia. Se ciò avviene, la lunghezza e la direzione della striscia ci indica ad un dipresso ove potremo nel giorno successivo ricercare il nuovo corpo. Si può quindi di nuovo fare ivi delle ricerche od a mezzo dell'osservazione diretta od a mezzo della lastra fotografica; ciò facendo con successo per alcuni giorni, si fornisce al calcolatore il mezzo di determinare la posizione

Fig. 82. — Il Planetoide (329) Svea scoperto fotograficamente da Max Wolf in Heidelberg il 21 marzo 1892.

del nuovo corpo nella cintura di piccoli pianeti, la sua distanza, durata di rivoluzione, ecc. (V. anche pag. 53). La figura 82 è la copia ingrandita sei volte di una piccola parte di un rilievo originale, sulla quale Wolf in Heidelberg potè per la prima volta scoprire un piccolo pianeta.

Mentre il fotografo del cielo è così oggi nel caso di rintracciare nuovi pianeti senza cognizioni e lavori preparatori, ciò non era prima possibile finchè non si fosse mandato innanzi il lungo lavoro dell'allestimento di un esatto rilievo cartografico della zona celeste, nella quale si poteva presumere di trovare tali pianeti, cioè di una *carta eclittica*. Per ragioni speciali, sulle quali dovremo ritornare, si poteva in precedenza ammettere che questi piccoli pianeti dovevano stare solo in una certa zona del cielo, nel mezzo della quale il Sole percorre il suo cammino annuo sul cielo, e che fu chiamata *eclittica*. Peters in Clinton (Stato di New York) e Palisa in Vienna hanno preparato delle carte molto esatte che contengono tutte le piccole stelle di quella plaga. Ora qualche tempo dopo l'epoca per la quale era stata delineata detta carta, paragonandola col cielo, essi trovarono che qua e là mancava una stella, ovvero che ve ne era una visibile di troppo. Il primo caso poteva attribuirsi ad una trascuranza scusabile nell'abbondanza di piccole stelle

in cielo, ma il presentarsi di una nuova stella per contro voleva esser tenuto d'occhio con vigilanza come sospetto, e quando essa manifestava un movimento, si era scoperto un nuovo pianeta. A questo modo i due prelodati astronomi hanno trovato un gran numero di questi minuti corpi celesti, con pena sempre crescente pel calcolatore, che per ogni pianeta aveva a sopportare molto maggior fatica del suo scopritore, fatica che si ripeteva tutti gli anni, quando non si volesse, trascurando il calcolo dell'orbita apparente, perdere d'occhio questi pianeti nani che oramai salgono a più di quattrocento. Finalmente ci si dovette pur decidere a *lasciar correre* semplicemente un certo numero dei più piccoli e non interessanti astri di questo gruppo, così che oggi può accadere che per qualche tempo si riguardi come nuovo un pianeta, che in realtà è stato visto molto tempo prima.

La ricerca sistematica di questi corpi, *la caccia ai pianeti*, fu naturalmente solo intrapresa allora quando si acquistò la persuasione che un grandissimo numero di essi doveva trovarsi sparso lungo una cintura tra Marte e Giove. Ma ben diversa è la storia della scoperta dei primi *asteroidi*, come soglionsi anche chiamare questi astri. Il primo di essi, Cerere, aprì la bella marcia delle scoperte astronomiche di questo secolo, giacchè esso fu veduto per la prima volta da Piazzi in Palermo il 1° gennaio 1801. Però la scoperta fu puramente accidentale, sebbene non giungesse per nulla inaspettata, giacchè come per le lune di Marte, l'esistenza di questi corpi era stata presunta molto tempo prima. Si era presunto che in ogni caso doveva esistere un pianeta nel ragguardevole intervallo che era denunziato come intercedente fra Marte e Giove, dalle distanze dei pianeti conosciuti dal Sole. Raggruppiamo queste distanze dal Sole in cifre rotonde: Mercurio 4 Venere 7, Terra 10, Marte 15, Giove 52, Saturno 95, Urano 192; allora si vede nettamente il salto da 15 a 52. Anche allora si parlò molto, ed a torto, di quella che è chiamata legge di Bode e Titius, la quale riproduce quelle distanze all'incirca a mezzo di una serie; però essa non trova alcun fondamento generale nei fatti della natura a noi noti, e quindi non ha alcuna pretesa al nome di legge. — Quella serie così corre:

Mercurio	$= 4$	Terra $4 + 2 \times 3 = 10$	Giove $4 + 16 \times 3 = 52$
Venere $4 + 1 \times 3 = 7$		Marte $4 + 4 \times 3 = 16$	Urano $4 + 64 \times 3 = 196$
		Saturno $4 + 32 \times 3 = 100$	

Nella serie 1. 2. 4. 16. 32. 64 manca evidentemente il numero 8, il quale darebbe 28 per la distanza del supposto pianeta. Mentre si attendeva a cercare questo pianeta, Piazzi che era occupato a sottoporre ad una esatta revisione il catalogo delle stelle fisse, trovò una stella di 8ª grandezza, che non appariva nel suo catalogo contenente stelle molto più piccole. Quando nei giorni successivi avvertì il movimento della nuova stella, egli sapeva che ad ogni modo questa doveva appartenere al sistema solare, ma lui ed i primi astronomi, che avevano udito della scoperta, non capivano se avevano davanti a loro un pianeta od una cometa senza coda. I dubbi vennero subito sciolti dalle ricerche teoriche del giovane Gauss, che in età allora di soli 26 anni, godeva già fama mondiale.

La questione del pianeta mancante fra Marte e Giove sembrò agli astronomi di quel tempo così completamente risolta, che Olbers, cercatore di comete in Brema, osservando per caso Cerere il 28 marzo 1802, imbattutosi in una stella che non apparteneva a quel luogo a lui ben noto e che mutava di posizione, non credette

in un secondo pianeta, ma di nuovo in una cometa. Anche qui il calcolo doveva avvertire della verità. Il secondo piccolo pianeta, grosso apparentemente circa quanto il primo, venne chiamato Pallade.

Però il pensiero della possibilità della presenza di un gran numero di pianeti in quell'intervallo non si manifestò ancora. Ciò si comprende, quando si pensi che dai tempi primitivi fino a quell'epoca, non si era aggiunto che un solo pianeta, Urano, ai pochi grandi pianeti stati sempre conosciuti. Non si poteva comprendere altro se non che il sistema planetario constasse di pochi componenti, come si vedeva succedere per i sistemi dei satelliti dei pianeti la loro immagine impicciolita. Ma poichè ora indubbiamente risultava che, tra Marte e Giove, esistevano due pianeti, venne in mente ad Olbers, che questi due non fossero in origine stati che un corpo solo, che fosse stato spezzato da una qualsiasi violenza potente. Questa idea trovò un argomento favorevole nel fatto che esiste nello spazio un punto, nel quale le orbite dei due corpi celesti quasi si tagliano, così che si potrebbe immaginare che quello fosse stato il luogo nel quale era avvenuta la catastrofe, che aveva mandato a pezzi l'unico corpo celeste. Se anche poi più tardi si dovette abbandonare questa opinione pur degna di attenzione, essa nonpertanto fu quella che spinse innanzi la ricerca di questi supposti frantumi. Harding, all' Osservatorio privato di Schröter in Lilienthal trovò Giunone, il 1° settembre 1804; e Olbers il 29 marzo 1807 ancora Vesta. Quest'ultimo è il massimo pianeta di questo gruppo, ed in posizione favorevole può, da un occhio straordinariamente acuto, essere veduto anche senza ainto di vetro.

In questo primo decennio del nostro secolo e nei successivi mancò il grande lavoro di un più esatto rilievo di carte del cielo stellato, a mezzo del quale avrebbe pur dovuto notarsi una stella che fosse segnatamente della grossezza degli ultimi asteroidi scoperti, e che si movesse. Ma poichè ciò non avvenne, si credette di aver in realtà riempito a sufficienza quel vuoto con quei quattro corpi, e non si cercò più con attenzione in quella direzione.

Così passarono 38 anni dalla scoperta di Vesta, prima che un diligente amatore dell'astronomia, Hencke in Driesen, scoprisse in Astrea il quinto planetoide. Il nuovo astro si distingueva dai quattro suoi compagni in quell'anello, essenzialmente per la sua minore lucentezza, il che fece sorgere subito la supposizione che altri simili corpi potessero ancora errare lungo orbite analoghe in numero considerevole; giacchè stelle così piccole da appartenere alla 10ª grandezza non erano state fino allora e non sono ancora presentemente catalogate con sufficiente esattezza. A stima, si può dire che ce n'è un millione.

Quindi quando Hencke che sempre cercava fu, due anni dopo, abbastanza felice da trovare ancora un piccolo pianeta, Ebe, cominciò una caccia generale a questi minuti corpi celesti, la quale d'allora in poi ha senza eccezione messo in luce ogni anno parecchi di essi, e anche oggi è spinta con zelo. Nell'anno 1895 fu toccata la quattrocentesima di tali scoperte; il solo Palisa ne ha rintracciato 83, Charlois in Nizza 46 a mezzo della ricerca fotografica pur dianzi spiegata, mentre Wolf in Heidelberg ne trovò in poco tempo ben 22 sulla sua lastra.

Naturalmente col perfezionarsi dei mezzi ottici e dei metodi si vennero scoprendo corpi sempre più piccoli, mentre non se ne rinvennero più dei relativamente grossi. Noi possiamo essere oggidì abbastanza sicuri, che in questo anello

non esistono più grossi asteroidi, fino all'incirca alla 9ª grandezza; noi imparammo così a conoscere i più importanti di questa classe per estensione. Da riassunti statistici sembra anche risultare che esiste un limite alla piccolezza di questi corpi, limite che non dipende per nulla dalla inattitudine del nostro apparecchio visivo.

Tutti questi astri, ad eccezione dei tre maggiori, si mostrano anche nei migliori cannocchiali come meri punti, senza estensione misurabile. Quindi non è possibile acquistare qualche cognizione sulla loro grandezza reale altrimenti, che a mezzo del medesimo metodo fotometrico che già ci ha servito per i satelliti di Marte. Noi sappiamo, che a tal fine dobbiamo fare alcune supposizioni sulla forza di riflessione della superficie degli astri. Ma ciò è sempre una cosa incerta, quando si vede in quante diverse maniere i pianeti dotati di un diametro visibile rinviano la luce. Così, ad esempio, ponendo l'*albedo* di Marte eguale ad 1, si ha, dalle accurate ricerche fotometriche di Müller, il seguente quadro per l'*albedo* dei grandi pianeti:

Fig. 83. — Asteroide (422) Berolina, scoperto fotograficamente nella costellazione dei Pesci da G. Witt nell'Osservatorio *Urania* in Berlino l'8 ottobre 1896.

Mercurio . .	0,64	Marte . . .	1,00	Saturno . .	3,28	Nettuno . .	2,96
Venere . . .	3,44	Giove . . .	2,79	Urano . . .	2,73		

Quale fra questi numeri si dovrebbe scegliere quale media per gli asteroidi? Ciò dovrebbe dal più al meno essere lasciato all'arbitrio, poichè noi nulla assolutamente sappiamo della costituzione superficiale di questi astri. Certe minime fluttuazioni di luce, che si verificarono indipendentemente dalle variazioni della distanza da noi, in certi asteroidi, in causa della mutata posizione rispetto al Sole che li illumina, resero probabile che la costituzione fisica di alcuni sia analoga a quella di Marte, e quella di altri, in certo qual modo, a quella di Mercurio. Nella supposizione pertanto che l'*albedo* di questi corpi celesti sia eguale a quella dell'uno o dell'altro dei detti due grossi pianeti, si trovano, sotto i numeri corrispondenti, nella tabella seguente, dati i valori dei loro diametri:

	Albedo 0,64:	Albedo 1.00:	Osservazione diretta:
Cerere . . .	475 km.	379 km.	964 km.
Vesta . . .	473 „	377 „	381 „
Pallade . . .	354 „	282 „	439 „

L'ultima colonna è il risultato di determinazioni dirette del diametro, che sono riuscite a Barnard a mezzo del grande refrattore Lick. Solo con questo refrattore è possibile di istituire misure dei piccolissimi dischi, che siano di una sicurezza attendibile, poichè anche coi più forti ingrandimenti quei dischi si possono appena riconoscere come distinguentisi distintamente da un punto. L'ultima colonna di numeri, dovuta a Barnard, deve di per sè aver diritto ad una probabilità molto maggiore, rispetto ai valori di Müller, che sono dati sotto certe ipotesi non controllabili, e la grande diversità fra Müller e Barnard per Cerere prova unicamente che l'ipotesi fatta sul suo potere riflettente era completamente falsa; la superficie di questo pianeta assorbe manifestamente molto più luce che qualsiasi altro dei maggiori corpi del sistema solare; Cerere è un corpo straordinariamente oscuro. Da ciò si può ancora dedurre con qualche probabilità che Cerere non ha alcuna atmosfera, poichè tutti i grossi pianeti, che sono di certo avvolti in un involucro gasoso, hanno una grande *albedo*, e sono molto lucidi per la forza di riflessione delle formazioni nubilose. Vesta per contro soddisfa alla supposizione di una superficie la cui lucentezza è uguale a quella di Marte; ma Pallade che fino a questi ultimi tempi si riteneva minore di Vesta, si presenta invece maggiore, e quindi parimenti, come un corpo più oscuro, di quanto si presumeva. Secondo le misure di Barnard i due corpi nominati per ultimo sono da venticinque a trenta volte circa minori in diametro della Terra; Cerere circa quattordici volte.

Rispetto all'apprezzamento della grandezza di tutti gli altri piccoli pianeti noi dobbiamo accontentarci del metodo fotometrico, che assegna ai più piccoli dei diametri fino a 9 km.; questi sarebbero così poco maggiori dei satelliti di Marte. Però la nostra esperienza intorno a Cerere ci ha mostrato, che in certi casi questi valori possono salire fino al doppio. È molto improbabile per contro che questi corpi siano più piccoli di quanto risulta dalle misure fotometriche, poichè ciò avrebbe per conseguenza una maggiore *albedo* e quindi la supposizione di una atmosfera intorno a questi minuti corpi, la quale, per ragioni che discuteremo più tardi, è appena immaginabile per i più piccoli. La sola Vesta sembra dare allo spettroscopio un qualche indizio di atmosfera. Se si ammettono per giusti i diametri fotometrici, il calcolo ci dice, che immaginando riuniti in un solo tutti i piccoli pianeti, essi verrebbero a formare un corpo il cui diametro sarebbe venti volte minore di quello della Terra. Secondo le misure di Barnard questo valore sarebbe troppo basso; ad ogni modo si vede che il complesso degli asteroidi, e sul piatto della bilancia inferiore al minimo degli altri pianeti, Mercurio.

Null'altro assolutamente sappiamo sulla costituzione di questa schiera di piccoli mondi. È curioso che alcuni planetoidi hanno colorazioni spiccate, ad esempio Iride, che è nettamente rossa; essa anche per questo rispetto rassomiglia a Marte. Alcuni osservatori vogliono avere talvolta osservato sopra alcuni di questi astri delle repentine fluttuazioni luminose; ma la giustezza di tale affermazione non è stata provata con sufficiente sicurezza.

Non tornerebbe certo conto di spendere tanta fatica a cercare, e molto meno a calcolare continuamente il percorso di queste piccole creazioni, se esse non ci dessero mezzo di accrescere per altra via le nostre cognizioni. Giacchè i rapporti di posizione delle loro orbite, la loro vicinanza, i loro movimenti, ci offrono molti punti di vista interessanti, importanti per la ricerca delle leggi dominanti, che noi impareremo nella seconda Sezione.

6. Giove.

Al di là dell'anello nel quale percorrono lo spazio in fitta schiera i minuscoli astri fratelli della Terra, si muove intorno al Sole il massimo di tutti i pianeti, Giove, che al Sole stesso è fra tutti i pianeti il più affine, non solo per la sua grandezza, ma anche per la sua costituzione fisica. Lo splendore giallognolo un po' appannato di Giove, del quale ogni anno godiamo durante tutta la notte e per parecchi mesi, può talvolta essere superato da quello di Venere, ma però la sua luce non va soggetta ad oscillazioni così spiccate. Forza maestosa, olimpica quiete, e regolarità nella vicenda delle apparenze sono i tratti caratteristici che nell'antichità gli valsero il nome di padre degli Dei, quando solo si poteva congetturare la reale e potente preponderanza di questo astro sui suoi compagni nel dominio solare. (Vedi tavola colorata, *Giove e Saturno*, a pag. 186).

In corrispondenza delle fluttuazioni della lucentezza di Giove, relativamente piccole, noi osserviamo nel cannocchiale, che il suo diametro è di gran lunga meno variabile di quello degli altri grandi pianeti considerati finora. Il massimo diametro di Giove, che, come per Marte, viene osservato quando esso si trova in opposizione col Sole, sale a 49″,5; esso non diviene quindi mai tanto grande quanto quello di Venere (65″,2). Per contro il minimo diametro, nella congiunzione, è circa sopra i 30″, quindi tre volte superiore a quello di Venere, quando si trova nella posizione corrispondente dall'altra parte del Sole. Le figure 84 ed 85 sono disegnate in rapporto a queste grandezze estreme. Tenendo le due figure ad 1 m. di distanza dall'occhio, esse corrispondono all'estensione apparente di Giove con un ingrandimento di 300 volte.

Giove presenta delle fasi in ragione ancora minore di Marte, quantunque all'epoca delle quadrature col Sole esse vengano in un cannocchiale osservate senza difficoltà. Queste piccole fasi lungo la rivoluzione sinodica che dura qualche cosa più di 13 mesi, assieme colle piccole fluttuazioni del diametro, fanno senz'altro congetturare che Giove deve circolare intorno al Sole molto lontano al di là di Marte. Esatte determinazioni danno per questa distanza 5,2 quella della nostra Terra, quindi in cifre rotonde 773 millioni di kilom. Confrontando la distanza col diametro apparente dato in precedenza, si ottiene il diametro vero eguale a 141.000 km. Il gigantesco pianeta è quindi per grandezza undici volte maggiore della nostra Terra, e solo dieci volte minore del Sole medesimo. La superficie di Giove offre non meno che 117 volte più spazio all'espansione della vita, che il nostro domicilio planetario. S'immagini l'intiera superficie terrestre, come una parte di quella di Giove: essa in proporzione non ne occuperebbe quella parte, che occupa sulla Terra la Russia Europea.

Guardando col telescopio questo pianeta, salta subito agli occhi una particolarità, che non avvertimmo nei membri del sistema solare considerati fino ad ora: il suo schiacciamento. La misura ad occhio mostra subito che il disco apparente di Giove misurato da Est ad Ovest ha un diametro maggiore che nella direzione da Nord a Sud. La differenza fra i due diametri ammonta a circa 15 o 16 parti della sua lunghezza; il che fa all'incirca 9000 km., ossia $^3/_4$ del diametro

terrestre, e di tanto su Giove è più breve il cammino da polo a polo passando pel centro, di quello da un punto dell'equatore ad un altro dell'equatore medesimo pure passando per il centro. Che veramente questo schiacciamento si verifichi ai poli, cioè ai punti per i quali passa l'asse del pianeta, attestano i movimenti apparenti delle particolarità della superficie, delle quali discorreremo fra breve. Giove mostra qui così una proprietà comune colla nostra Terra, la quale non fu constata con sicurezza nè per Mercurio, nè per Venere, nè per Marte. In ciò però non dobbiamo dimenticare che lo schiacciamento della Terra è assai minore di quello di Giove; esso importa, come si sa, solo $^1/_{300}$ del suo diametro. Se i due pianeti fossero schiacciati nella stessa proporzione, noi non potremmo determinare bene quegli schiacciamenti neppure coi nostri istrumenti moderni che pur lavorano con tanta esattezza.

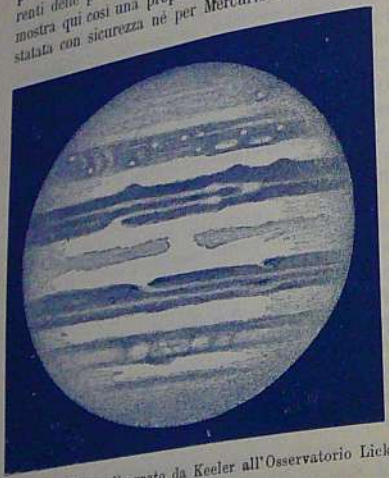


Fig. 84. — Giove, disegnato da Keeler all'Osservatorio Lick il 10 luglio 1889.

Considerazioni teoriche insegnano che lo schiacciamento di un pianeta deve essere in un determinato rapporto colla sua velocità di rotazione; ciò si comprende subito, quando si pensi, che il rigonfiamento equatoriale di una sfera schiacciata è manifestamente una conseguenza della forza centrifuga, che aumenta colla velocità della rotazione. Quando si conosce la velocità di un punto dell'equatore di un pianeta, e si sa in pari tempo qualche cosa circa la densità della sua massa, che determina la sua forza di resistenza contro lo sforzo di separazione, si può calcolare teoricamente lo schiacciamento necessario, che per la Terra coincide con quello misurato direttamente. Per Mercurio, Venere e Marte, pur accettando per i due primi una durata di rivoluzione di circa un giorno, si ottengono a quel modo dei valori che giaciono al limite della nostra potenza di misura. Per Marte la differenza ammonterebbe a circa la decima parte di un secondo d'arco, ossia 150 o 200 volte meno della larghezza di un capello umano, tenuto dall'occhio alla distanza della visione distinta. Per Marte però si sono trovate veramente traccie di un tale schiacciamento.

Lo schiacciamento così forte di Giove, quindi, anche per sole considerazioni teoriche conduce alla conclusione, che il pianeta deve ruotare molto rapidamente intorno al proprio asse, il che fu realmente confermato dall'osservazione. La durata media della rotazione del pianeta è di sole 9 ore e 55 minuti. Tanto su Giove è quindi lungo il giorno, comprendendovi la sua metà illuminata e quella oscura;

tutto il tempo, durante il quale il Sole si mostra ad un qualsivoglia abitatore di Giove, non è più lungo che da noi un mattino d'inverno. Se ora si pon mente a ciò che essendo Giove undici volte maggiore della nostra Terra, avrà anche una circonferenza equatoriale d'altrettanto maggiore della nostra, così dalla velocità della sua rotazione 2 volte e $^1/_2$ maggiore della nostra, si deduce che un punto dell'equatore di Giove vien portato in giro attorno al pianeta 26 o 27 volte più rapidamente di quanto succede presso di noi. Questa velocità raggiunge colà la grandezza straordinaria di 12 $^1/_2$ km. al minuto secondo. Quindi anche senza l'aiuto del calcolo possiamo renderci ragione del forte schiacciamento, ed a primo aspetto restiamo meravigliati che in causa di una rapidità così vertiginosa, le parti della superficie all' equatore, non vengano lanciate nello spazio. Un punto dell'equatore terrestre si muove colla velocità di 465 m. al minuto secondo, cioè colla velocità di taluni nostri proiettili; malgrado ciò il rapporto fra tale velocità e quella di Giove è quello di un treno di ferrovia ad una palla da schioppo.

Fig. 85. — Giove, disegnato da Keeler all'Osservatorio Lick il 15 luglio 1889.

Questa straordinaria rapidità porse a Deslandres in Parigi, occasione ad una interessantissima osservazione fondata sul principio Doppler-Fizeau, del quale già discorremmo (pagg. 80 e 81). Durante la rotazione, le parti di un lembo di Giove si allontanano da noi di 12,4 km. al secondo, e quelle dell'altro vengono accostandosi a noi con uguale velocità: pertanto le velocità delle onde luminose che giungono a noi dal lembo orientale e da quello occidentale del pianeta, differiscono fra loro di 24,8. A ciò s'aggiunge che questi lembi s'accostano o s'allontanano rispetto alla luce del Sole, prima che questa sia riflessa a noi. L'azione viene perciò raddoppiata; la differenza pertanto fra le velocità della luce dei due lembi non importa meno di 49,5 km., che oggi può essere provata con grande sicurezza a mezzo dello spostamento delle linee. L'indagine spettroscopica diede difatti 47,3 km. come una bellissima conferma del principio Doppler-Fizeau, che nelle investigazioni intorno al mondo delle stelle fisse si è dimostrato per molti rispetti assai fecondo.

Poincaré ebbe in quest'occasione una eccellente idea, la cui attuazione pratica si è però fino ad oggi urtata contro difficoltà tecniche. Il raddoppiamento mentre zionato dell'azione delle onde luminose, che provengono da un corpo riflettente mobile, possono dare occasione a scernere fra loro le variazioni dello spettro che vengono causate dalle atmosfere dei tre corpi che si considerano, il Sole, il pianeta e la Terra. Noi sappiamo per altre considerazioni, quanto questo era fino ad oggi difficile specialmente per le azioni della nostra atmosfera, che presumibilmente

non è per tal riguardo troppo diversa da quella degli altri pianeti esaminati. La luce solare deve manifestamente, come si disse, venire doppiamente influenzata: le linee d'assorbimento dell'atmosfera solare mostrano così il massimo spostamento. Per contro le variazioni dello spettro che avvengono solamente nell'atmosfera del pianeta, possono subire solo la metà di questo spostamento, e finalmente le variazioni dello spettro nella nostra atmosfera non ne subiscono alcuno. Così per una medesima sostanza che esistesse nelle atmosfere del Sole, del pianeta che si esamina e nella nostra, si otterrebbero tre gruppi di linee fra loro molto vicini, che colla loro posizione potrebbero indicarci il loro luogo di origine. Si tratta quindi solo di costruire degli strumenti che siano capaci di separare nelle loro parti costituenti delle bande formate da linee allargate così vicine da formare l'impressione di una sola.

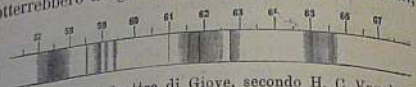


Fig. 86. — Spettro di Giove, secondo H. C. Vogel.

D'altronde le osservazioni spettroscopiche denunziano l'esistenza di un atmosfera su Giove, molto più chiaramente che per i pianeti considerati fin qui. Non si presentano solo distintamente nel rosso le *bande telluriche* tanto spesso menzionate, che caratterizzano l'atmosfera terrestre e che appaiono anche con Giove, quando per essere situato molto in alto, l'influenza della nostra atmosfera sullo spettro non avrebbe importanza, ma si mostra anche una larga banda d'assorbimento nel rosso il cui mezzo ha una lunghezza d'onda di 618 millionesimi di millimetro. La figura 86 riproduce lo spettro di Giove colla sua banda d'assorbimento secondo H. C. Vogel. È quindi certo che il grandioso pianeta è circondato da un'atmosfera fortemente assorbente, vale a dire molto densa e alta, la cui composizione chimica è bensì in complesso non dissimile dalla nostra, ma che tuttavia diversifica da questa in alcuni tratti che non si possono subito determinare, come dimostra la banda presso i 618 μμ (micromillimetro = millionesimo di millimetro). Se colà fra le parti costituenti la nostra atmosfera sia frammischiata anche un'altra sostanza che produce quella banda, o se questa sia prodotta dal trovarsi i gas dell'atmosfera terrestre sottoposti in quella di Giove ad una pressione diversa, oppure da una diversa proporzione nella miscela, non si può ora determinare.

La superficie di Giove mostra, come vedremo meglio più avanti, oltre a fascie giallo-biancastre anche delle scure, tendenti al rosso. Era naturalmente interessante l'esaminare spettroscopicamente le due regioni, e si trovò che nelle regioni oscure, non solamente si verificava un indebolimento generale dell'intensità dello spettro, ma anche un notevole allargamento delle bande oscure, dal che segue che qui il maggiore assorbimento è prodotto da una penetrazione più profonda della luce solare. Secondo la testimonianza dello spettroscopio, le regioni più chiare dovrebbero riguardarsi come nubi che stanno sospese nei più eccelsi luoghi dell'atmosfera di Giove, e quelle più oscure, per buchi o vani, attraverso ai quali probabilmente s'intravede la superficie del pianeta. È a notarsi, che secondo Vogel lo spettro di Giove sembra essere esposto a fluttuazioni, le quali per una parte dipendono dalle fluttuazioni generali di lucentezza trovate da Müller, e per l'altra dall'attività solare periodicamente variabile. La lucentezza generale, cioè l'*albedo*,

del pianeta ha, secondo Müller, l'alto valore di 2,70 (ponendo quella di Marte eguale ad 1), la quale è superata solo da quelle di Venere e Saturno. È conseguenza che da ciò vien da sè, che con essa oscilli anche la chiarezza dello spettro. Ma contemporaneamente si avverte un cambiamento dello spettro nel senso, che esso con quella si accosta al carattere delle regioni chiare: le linee di Fraunhofer provenienti dal Sole divengono più forti, quelle bande di assorbimento formate dall'atmosfera di Giove, per contro, più deboli. Dalle osservazioni spettroscopiche, noi potremmo già quindi dedurre la congettura, che a quell'epoca l'involucro nubiloso di Giove sia più ragguardevole, e ciò è confermato dalle determinazioni dell'*albedo*, in quanto che l'esperienza cogli altri pianeti da un'*albedo* più elevata lascia presupporre una copertura di nubi più spessa. Non è altrettanto agevole lo spiegare la coincidenza coll'attività solare. Precisamente all'epoca, quando il Sole viene oscurato da macchie più frequenti, e quindi si ha ragione di credere che la sua lucentezza sia diminuita, quella di Giove cresce. Noi faremo ritorno su questa questione, trattando di quanto succede sul Sole e della sua influenza sopra quanto lo circonda, ed allora vedremo come anche la Terra sia in particolar modo influenzata dall'attività solare.

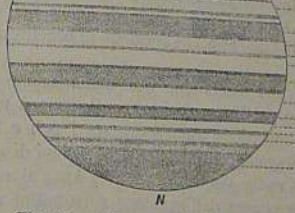


Fig. 87. — Rappresentazione schematica delle zone e bande di Giove.

Se da queste manifestazioni generali della luce ci volgiamo alle constatazioni speciali sulla superficie del pianeta, noi troviamo subito confermata la nostra persuasione dell'esistenza nell'atmosfera di Giove di un denso strato di nubi. Anche il più debole cannocchiale mostra sul grande pianeta delle formazioni a striscie, che sono disposte parallelamente, e dànno al disco luminoso l'aspetto di un planisfero sul quale le zone siano segnate molto fortemente. Ma con apparecchi di visione migliori, si vede subito che queste zone oscure e chiare non hanno orli ben definiti, e che l'una talvolta invade l'altra, e che anche nell'interno delle zone si riscontrano macchie oscure e chiare, ed in generale molte irregolarità. Le zone poi non dimostrano alcun carattere permanente, sebbene alcune delle formazioni superficiali rimangano nel complesso fisse per più di un decennio, come quella denominata " macchia rossa „, intorno alla quale dovremo ancora discorrere. Anche la distribuzione generale delle bande oscure e chiare parallele rimane abbastanza invariata, così che si potè adottare una speciale nomenclatura, riprodotta nella figura 87. In mezzo del disco, dove a causa del movimento di rotazione osservato del pianeta deve stare il suo equatore, si mostra innanzi tutto una fascia, assai larga, lucente, bianca, che spesso là ove è incontrata dal piano

dell'equatore presenta una sottile striscia oscura. Nel 1889, all'osservatorio Lick, la larghezza della zona equatoriale fu trovata eguale a circa 37.000 km., comprendendovi le due larghe bande equatoriali oscure che cingono a Nord e a Sud la fascia chiara. A queste tiene dietro sopra ciascun emisfero un sistema di striscie sottili, chiare e oscure, che rappresentano la *zona temperata* di Giove; ai poli Nord e Sud appaiono calotte oscure, che solo estremamente di rado mostrano un qualsiasi particolare. Quindi se le formazioni bianche sul pianeta sono veramente nubi, noi distinguiamo su di esso una ben netta sua divisione in una zona tropicale, in due zone temperate e polari, che ci indica che sul pianeta vien prodotto un lavoro di movimento d'aria, che vi si verifica cioè una circolazione che nei suoi tratti generali non è essenzialmente diversa da quella della nostra atmosfera. Anche sulla Terra i grandi strati nuvolosi si dispongono a zone, che viste dal di fuori mostrerebbero all'incirca orli paralleli fra loro ed all'equatore. Ai tropici una cintura bianca farebbe riconoscere la regione nella quale domina il tempo piovoso, e quella zona temperata che ha il suo estate, apparirebbe in generale a chi la guarda dal di fuori più oscura di quella dell'emisfero opposto, perchè l'estate apporta serenità dell'aria, che permette di penetrare collo sguardo nell'oscuro dominio terrestre.

Però sulla Terra non osserviamo una delimitazione relativamente così netta e complicata come sopra Giove. Questo parallelismo è una conseguenza del moto di rotazione. Nella circolazione atmosferica tra i poli e l'equatore e viceversa le formazioni di nubi giungono continuamente in regioni di velocità diversa. All'equatore questa ammonta come sappiamo a 12 $^1/_2$ km., ai poli essa è nulla. Quindi se una corrente aerea giunge dall'equatore a latitudini più alte, essa avrà maggiore velocità di quella media che compete a quelle regioni, e poichè il pianeta procede da Ovest verso Est, vi produrrà un vento di Ovest, come si osserva sulla Terra per gli alti alisei in distanze corrispondenti dall'equatore. Il rovescio deve avvenire per le correnti che procedono dai poli verso l'equatore, le quali rimangono indietro rispetto alla rotazione. Lo stesso avviene per i movimenti ascendenti o discendenti dell'aria. Con eguale velocità angolare, le parti dell'involucro aereo poste più in alto devono lasciarsi addietro maggior tratto di quelle basse; pertanto una corrente ascendente d'aria, ritarderà sulla rotazione e produrrà un vento di Est, una corrente discendente, all'opposto, un vento d'Ovest. Ma poichè sotto l'equatore in causa di una costante irradiazione solare, si produce anche una permanente corrente d'aria ascendente, così dalle due parti dell'equatore si genera nelle alte regioni l'aliseo d'Est che soffia incessantemente, ed in generale dobbiamo conchiudere che alla superficie devono dominare i venti di Ovest, negli alti strati atmosferici quelli di Est, ciò che l'osservazione conferma sulla Terra.

Le condizioni e le variazioni osservate sulla superficie di Giove mostrano nel modo più evidente, che colà deve verificarsi una circolazione, che sebbene non dissimile da quella terrestre è molto più energica di questa. Si riconosce ciò, segnatamente da taluni ammassi delle fascie equatoriali chiare che rimangono costantemente indietro sul movimento di rotazione, come ad esempio emerge da un disegno eseguito il 10 luglio 1889 (Fig. 84) col refrattore di 36 pollici (cm. 91 circa) dell'osservatorio Lick da Keeler. Si deve pensare che qui esistano correnti d'aria ascendenti, le quali giungono nelle regioni superiori dell'atmosfera indubbiamente

molto alta, e che colà rimangono indietro rispetto alla rotazione del pianeta e perciò si incurvano. Le punte più esterne s'avanzano poco per volta nelle regioni più oscure, dopo che il tutto si è disteso in forma di striscia. Evidentemente anche le striscie meno variabili delle zone temperate si sono formate in modo simile. Si riconosce ciò alla lentezza del movimento di rotazione molto maggiore che si è avvertito qui nei dettagli osservati. Le zone di Giove corrispondenti, dalle quali fu dedotta la durata della rotazione data di 9 ore e 55 ½ minuti, giaciono circa fra 15 e 45 gradi di latitudine Nord e Sud; le parti della fascia equatoriale compiono un giro intorno all'asse del pianeta in 9 ore e 50 minuti. — In conformità alle considerazioni meteorologiche terrestri, che abbiamo mandato innanzi, le regioni polari girano ancora più rapidamente. Qui non si ha alcuna corrente ascendente, ma solamente una corrente aerea essenzialmente diretta verso i poli; ma quest'ultima apporta, segnatamente nelle latitudini più elevate come già vedemmo, un affrettamento in avanti [1]. È assai difficile il determinare di quanto il movimento di rotazione si acceleri andando verso i poli, dopo aver ritardato nelle zone temperate, giacchè nelle alte latitudini di Giove si presentano molto di rado delle macchie, i cui movimenti possano essere seguiti per lungo tempo. Ma questa dipendenza del movimento di rotazione dalla latitudine *giovigrafica*, ci prova che in generale noi non vediamo una superficie solida, la quale naturalmente dovrebbe mostrare dai poli all'equatore una rotazione uguale, quale noi la possiamo stabilire per Marte colla precisione di pochi centesimi di minuto secondo. Per Giove, è impossibile toccare una tale esattezza in causa della variabilità degli oggetti ai quali si deve tener dietro. Per ragioni analoghe noi non conosciamo affatto la durata propria della rotazione del corpo solido di Giove che sta sotto questi ammassi di nubi. Per sole analogie colla Terra, possiamo ritenere che le nubi equatoriali seguano all'incirca realmente la vera rotazione, le nubi delle zone temperate invece precedano, così che la vera rotazione di Giove debba essere compresa fra 9 ore e 50 minuti e 9 ore 55 minuti.

Un eccellente punto di partenza per la determinazione della durata della rotazione, ci è offerto da certi piccoli punti bianchi lucenti, che si riscontrano spesso particolarmente nella zona temperata meridionale, mentre la settentrionale è notevolmente più povera di tali particolarità. Noi vediamo un sistema di tali macchie anche nel menzionato disegno di Keeler. Esse sono disposte, è a notarsi, simmetricamente, due macchie ovali chiare sono seguite a latitudini alquanto più elevate da due piccole e tonde. Queste macchie ed il loro aggruppamento si mantennero quasi invariati durante tutta la serie di osservazioni di Keeler, vale a dire dal principio del luglio 1889 fino al settembre. Se anche queste erano nubi, il che era reso probabile dal loro aspetto e dalla loro esistenza, malgrado la loro

(1) È appena necessario l'avvertire che le indicazioni delle regioni celesti in tutte le rappresentazioni dei dischi planetari valgono per il nostro punto terrestre d'osservazione. Ma perciò non si deve voler leggere che la rotazione di Giove avvenga da Est ad Ovest, cioè in senso opposto a quello della Terra. Dei pianeti che si trovano in opposizione, in certo qual modo noi non vediamo che le parti inferiori. La metà del pianeta opposta a noi e che si trova dall'altra parte, e che vista dal Sole ha la stessa posizione dell'emisfero terrestre sul quale noi ci troviamo, si muove come questo da Ovest ad Est, come tutti gli altri pianeti per i quali è stato accertato un moto di rotazione.

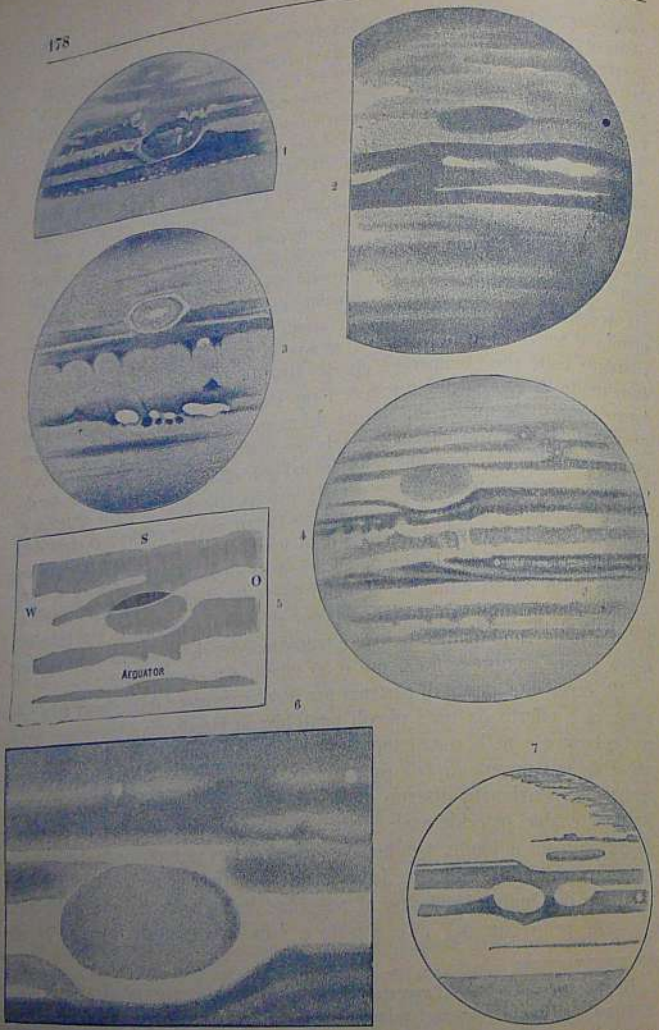


Fig. 88. — La macchia rossa di Giove: 1) il 9 gennaio 1895, disegnata da Gordon in Paterson N. A.; 2) 1889, disegnata da M. W. Meyer in Ginevra; 3) 20 ottobre 1893, disegnata da Antoniadi all'Osservatorio Flammarion in Juvisy presso Parigi; 4) 1889, disegnata da Keeler all'Osservatorio Lick; 5) con uno strato di nubi sovrapposto, disegnata nel 1886 da Young; 6) disegnata il 5 settembre 1889 da Keeler col grande refrattore dell'Osservatorio Lick, con un ingrandimento di 630 volte; 7) disegnata nel 1878 da Niesten in Bruxelles.

temporanea permanenza, passeggiera, esse dovevano essere prodotte in condizioni speciali, che stanno in relazione colle parti solide della superficie. Se si osasse trasportare su Giove, senz'altro, le condizioni terrestri, si potrebbe pensare a vette e dossi di monti, che avevano accumulato sulle loro sommità e vi trattenevano durante lungo tempo degli strati di nubi, e probabilmente anche a vulcani che durante un lungo lasso di tempo emettessero delle masse di vapore.

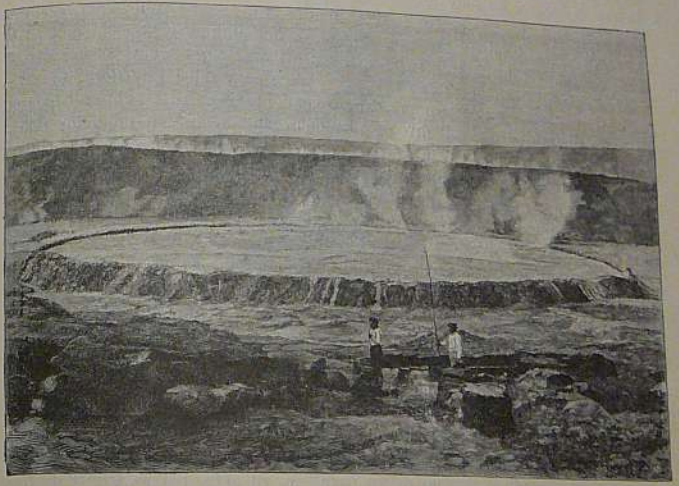


Fig. 89. — Il vulcano Kilauea col Lago di fuoco, nell'Isola Hawaij. Da una fotografia.

Sembra attestare in modo speciale di grandiosi sconvolgimenti che agiscano dal disotto sull'atmosfera di Giove, la menzionata *macchia rossa*, che sembra essere stata veduta per la prima volta nell'anno 1872 da Corder e Terby, e che nei primi tempi era affatto insignificante, ma che in principio del 1880 crebbe così in importanza, che la si poteva vedere comodamente anche in cannocchiali molto deboli, e che d'allora in poi andò facendosi lentamente pallida, ma che oggi è ancora visibile. Noi riproduciamo (fig. 88) alcuni disegni della superficie di Giove colla macchia, eseguiti a mezzo di diversi strumenti negli anni 1878, 1880, 1889, 1893 e 1895; ed aggiungiamo un grande disegno della macchia sol col suo contorno immediato, quale lo vide Keeler il 5 settembre 1889 nel grande refrattore Lick, con un ingrandimento di 630 volte. Da misure istituite collo stesso cannocchiale risultò che all'epoca indicata, la macchia aveva una lunghezza di 29.800 km., cioè tanto quanto un quarto di tutta la circonferenza terrestre. Un tratto caratteristico, che riappare in tutti i disegni della macchia, è l'incurvamento della larga fascia di nubi nella zona temperata meridionale, nella quale si mostra il notevole feno-meno. All'aspetto quasi si direbbe che le masse di nubi di quella fascia ricevano

una spinta a mezzo della macchia. Quest'incurvamento è senza eccezione notato sempre come rivolto verso l'equatore. Verso il Sud poi, la macchia confina con una fascia oscura, che non è da essa influenzata. La striscia bianca che qui d'ordinario esiste verso il Sud, viene anche talvolta ad inflettersi, come dimostra il grande disegno di Keeler. La menzionata striscia bianca appare qui interrotta ad oriente e ad occidente da un ponte di nubi, così che tutta la macchia è incorniciata di bianco. Le nubi fuggono questa macchia rossa. Solo una volta o due si potè osservare che una specie di velo di nubi attraversasse la macchia, e ciò fu visto da Young nel 1886 (vedi fig. 88, n. 5). Nell'ultimo caso, solo una parte aveva conservato il suo antico colore rosso, ma anche qui si vide ancora distintamente come tutta la fascia bianca fosse stata spinta verso l'equatore.

Se ci facciamo a ricercare una spiegazione dei fatti descritti, noi non troviamo altra via di uscirne che coll'invocare fenomeni vulcanici. Solo un getto d'aria molto potente, che emani dalle corrispondenti regioni della superficie di Giove, può spingere con un vento furioso in quella fascia un ammasso di nubi intorno al pianeta. Questo getto d'aria a sua volta, può nella sua azione così permanente venir spiegato unicamente a mezzo di una temperatura alta pervadente tutta la regione, il cui calore raggiante contemporaneamente scioglie una gran parte del vapore contenuto nelle nubi che vi si librano sopra. Ora poichè certe considerazioni che noi impareremo più tardi, permettono di conchiudere che Giove si trovi ancora in una età poco avanzata, nella quale il processo generale di raffreddamento al quale devono sottostare i corpi celesti, non sia progredito fino al punto da produrre una crosta solida, così noi possiamo congetturare, che sotto alla macchia rossa la superficie di Giove sia stata invasa dai fluidi incandescenti dell'interno del pianeta, e che ne sia derivato un mare di lava, nel quale potrebbero capire due sfere grandi quanto la Terra, e che questo mare o lago di fuoco liquido, in causa della rapida rotazione del pianeta, si sia nel suo mezzo disteso secondo il cerchio di un parallelo, ed abbia perciò acquistato una forma ellittica. Sulla nostra Terra possediamo un minuscolo corrispondente alla macchia rossa di Giove, ove la nostra supposizione sia vera, nel *lago di fuoco di Hawaij* (fig. 89). Colà, nelle vicinanze del massimo vulcano oggi in attività, il Mauna Loa, si trova un altro vulcano minore, il Kilauea, la cui apertura è un lago di lava costantemente liquida, di circa un mezzo chilometro di diametro. La lava sale e cade in questo da una cavità circondata da un orlo più basso e talvolta lo invade. Da queste invasioni o inondazioni sono prodotti i declivi insolitamente dolci del vulcano, i quali hanno un'inclinazione di appena 5 o 6 gradi. Quindi appena si può riguardare quel vulcano come un monte. Pertanto, facendo un confronto coi vulcani terrestri di quanto vediamo su Giove, non dobbiamo immaginare cola una montagna ignivoma di gigantesche dimensioni. Anche sul lago di fuoco delle Hawaij vediamo talvolta le nubi andar vagando in modo speciale, presentando, per fermo, alcunchè di simile a quanto avviene sulla macchia rossa di Giove.

Se la superficie di Giove si trova ancora realmente nello stato originario, che noi dobbiamo presupporre per poter spiegare non troppo difettosamente il fenomeno della macchia rossa, allora troviamo che si può contemporaneamente spiegare l'alta e densa atmosfera coi suoi tempestosi movimenti. Si può riguardare

come una visibile prova della notevole altezza dell'involucro aereo di Giove, la diminuzione ragguardevole di luce del suo disco apparente verso i lembi, che in nessun pianeta è così ragguardevole. Talvolta anche i satelliti di Giove transitando dietro al pianeta, mostrano dei fenomeni che si possono intendere solo colla presenza di un'atmosfera straordinariamente estesa.

Il grandioso corpo che ha comuni col Sole molti tratti di affinità, gli rassomiglia anche in ciò che esso ha raggruppato intorno a sè una schiera di corpi celesti non insignificanti, che gli circolano attorno come i pianeti intorno al raggiante astro centrale. Giove è circondato da cinque lune, delle quali la quinta esiste, per la nostra cognizione, solo da pochi anni, mentre le altre quattro sono i primi corpi celesti che siano stati scoperti appena inventato il cannocchiale, quando nel 1610 Galilei lo diresse per la prima volta su Giove. Oggidì qualsiasi binoccolo da teatro fa vedere i satelliti di Giove, e si vuole che taluni uomini dotati di vista acuta e pratica, li abbiano visti anche senza aiuto di vetro. Per combinazione essi non hanno potuto ritenere alcuno dei nomi che loro erano stati dati (Galilei aveva voluto battezzarli " stelle medicee " in onore del suo mecenate), così che oggidì essi sono indicati con cifre romane per ordine secondo la loro crescente distanza dall'astro principale, I, II, III, IV. Ma con ciò, dopo la scoperta del quinto satellite, che sta più vicino al pianeta ancora di I, vi sarebbe stata inevitabile assurdità, e ne sarebbe derivata una confusione irrimediabile, se si fosse alterato le cifre degli antichi satelliti. Così fu meglio ricorrere alla inconseguente indicazione di V pel satellite di recente scoperto.

È uno spettacolo molto interessante, il tener dietro al cammino dei quattro grandi satelliti, che ora a destra ora a sinistra del pianeta gigante, in serie ognor mutabili si raggruppano ognora in modo diverso, ma stanno quasi sempre lungo una linea che passa per l'equatore del pianeta. Quasi giornalmente questo piccolo sistema di mondi offre dei fenomeni che derivano dalle vicende dei satelliti lungo le loro orbite. Ora una delle lune, la cui forma a disco si può facilmente constatare coi migliori cannocchiali, scorre lentamente dietro al pianeta, e durante alcuni minuti o frazioni di minuti ci sta innanzi uno dei più rapidi satelliti, od un altro che per essere più lontano si muove più lentamente, è ancora visibile come sporgenza sull'orlo del pianeta un tratto del disco del satellite. Dall'altra parte, appare poco per volta dietro al pianeta un satellite. Si chiamano occultazioni, queste posizioni nelle quali diviene invisibile una luna, a seconda che si nasconde dietro al pianeta. Dopo che il satellite è stato per qualche tempo vicino a Giove, come piccolo disco lucido, e dopo che se ne è allontanato lentamente da esso, avviene che il suo splendore entro pochi secondi s'estingue d'improvviso, così che il satellite rimane durante parecchie ore intieramente invisibile. Poi riappare, del pari di nuovo improvvisamente, molto più lontano dal pianeta. Durante questo tempo esso fu immerso nell'ombra di Giove, ed avvenne un ecclisse del satellite.

Un ecclisse di Luna è per noi un avvenimento raro, che è segnato nel nostro calendario solo una o due volte nell'anno, ma per Giove è invece un fatto quotidiano. Naturalmente la serie delle vicende descritte può intieramente invertirsi o presentare le più varie complicazioni a seconda della posizione del sistema di Giove rispetto a noi ed al Sole.

Su Giove gli ecclissi di Sole sono altrettanto frequenti quanto quelli di Luna, in quelli si vedono spesso sul disco del Sole una o più macchie rotonde nere, che si danno a riconoscere quali ombre dei satelliti. Sul nostro disegno di Giove eseguito nel 1880 (fig. 88,2) si vede bene sull'orlo una tale ombra del satellite. Finalmente avvengono frequenti passaggi di questi satelliti davanti a Giove.

Nella figura 90 sono rappresentate le posizioni dei quattro satelliti per le ore 11 del tempo medio dell'Europa centrale nei giorni dal 6 al 21 febbraio 1896

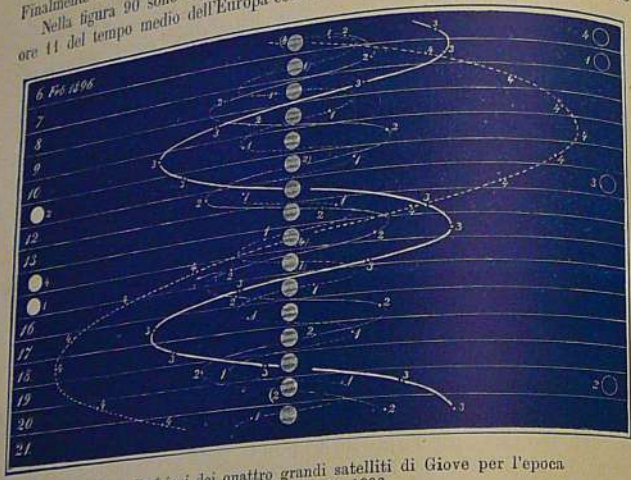


Fig. 90. — Posizioni dei quattro grandi satelliti di Giove per l'epoca dal 6 al 21 febbraio 1896.

inclusivi. Se per uno di questi giorni non è dato il luogo di un satellite, ciò vuol dire che in quell'epoca il satellite si trovava o dietro al pianeta, o nella sua ombra, nel qual caso sulla linea corrispondente al giorno è segnato a destra un disco nero: ovvero ancora esso sta davanti al pianeta, ed allora si vede disegnato a sinistra un disco chiaro. Le posizioni di ogni satellite nei giorni successivi furono collegate a mezzo di una curva, per il che si ha la possibilità di seguire il suo cammino attorno al pianeta. Nelle curve per il terzo ed il quarto satellite accade in alcuni luoghi, ad esempio per il 12 ed il 19 febbraio, che esse dalla parte destra di Giove cominciano solo a qualche distanza da questo. Con ciò è palesata l'azione dell'ombra del pianeta, che lasciò solo colà apparire oppure già fece sparire il satellite, dove la curva principia o finisce. Si vede che la posizione di questo punto rispetto a Giove cambia di già nel breve lasso di tempo, per il quale i luoghi dei satelliti furono qui disegnati, il che è conseguenza della posizione variabile di Giove rispetto al Sole ed alla Terra. Per il primo ed il secondo satellite la distanza del punto d'entrata e d'uscita è molto minore, poichè queste lune sono in realtà molto meno distanti dal loro pianeta principale.

Il primo satellite non si può allontanare dal centro del suo pianeta più di circa sei raggi di esso. Sebbene questa distanza sembri relativamente piccola, essa

è tuttavia realmente alquanto maggiore della distanza della nostra Luna dal centro della Terra. Quest'ultima ammonta, in media, a circa 385.000 km., la prima a 420.000. Il satellite compie una rivoluzione attorno al corpo principale in 1 giorno, 18 ore e mezzo. Il diametro del satellite si presenta a noi sotto un angolo di circa esattamente un secondo d'arco, dal che risulta che la sua mole è alquanto maggiore di quella della nostra Luna, con un diametro di 3800 km.

Nella circostanza del passaggio di questo satellite davanti al disco di Giove l'8 settembre 1890, attraversando la fascia bianca equatoriale, esso apparve diviso in due parti distinte: erano derivati due satelliti (fig. 91). Ma dopo che il satellite fu uscito di nuovo dal disco e giunse a proiettarsi sul fondo scuro del cielo, esso riprese di nuovo la sua forma ordinaria. Il fenomeno fu così distintamente veduto da parecchi astronomi dell'osservatorio Lick, che durante un certo tempo si credette che il satellite constasse di due corpi molto vicini fra loro e girantisi rapidamente attorno l'un l'altro, e che per il nostro luogo d'osservazione terrestre si fossero sempre coperti a vicenda. Ma per comprendere la vera spiegazione ne è d'uopo tener dietro da vicino ad un passaggio normale di una tal Luna davanti al disco del pianeta. Dopo l'entrata noi vediamo il satellite come un piccolo disco che si stacca dalle parti periferiche del pianeta, le quali in causa dell'atmosfera sembrano, come già si disse, notevolmente più oscure della restante superficie. Ma quanto più il satellite progredisce verso il mezzo, tanto più diviene difficile il distinguerlo ancora dal suo ambiente lucido sul disco di Giove. Poi esso si perde ordinariamente del tutto nelle parti centrali della zona bianca equatoriale, per emergere poi di nuovo qualche tempo prima dell' uscita dall' altro lembo. Questo scomparire del satellite davanti al disco di Giove è un fenomeno naturale, quando si debba ammettere che esso sia come il suo pianeta principale avvolto da un guscio di nubi riflettente del pari la luce. Ricerche spettroscopiche di Vogel, che però sono uniche e che per la loro difficoltà non vanno immuni da obbiezioni, sembrano confermare ciò. Secondo quelle la linea speciale dell'atmosfera di Giove, 618 $\mu\mu$, si mostra anche nello spettro del satellite. Ora poichè Giove ed il suo satellite ci mandano luci di uguale natura ed intensità, noi non abbiamo alcun mezzo di separare nel nostro occhio i due corpi. Un'osservazione ripetutamente verificata dall'autore col refrattore di dieci pollici (cm. 25) dell'Osservatorio di Ginevra sembra indicare che il primo satellite sia circondato da un'atmosfera. Tenendo dietro attentamente al satellite nel suo passaggio davanti al disco di Giove, finchè scompare nella zona bianca equatoriale, si potè tuttavia discernere il lembo di esso, come una piccola linea circolare oscura. Ciò accennerebbe ad un assorbimento da parte dell' atmosfera del satellite, simile a quella che si nota sul lembo dal pianeta.

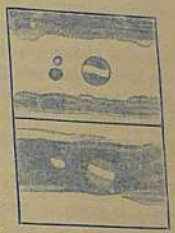


Fig. 91. — Fenomeni singolari osservati sul primo satellite di Giove l'8 settembre 1890 ed il 3 agosto 1891 all' Osservatorio Lick.

Si producono però anche i così detti *passaggi oscuri* dei satelliti, che segnatamente negli ultimi tempi hanno attirato l'attenzione degli astronomi. Inaspettatamente e senza alcun indizio preliminare, il satellite si mostra sul pianeta

come un disco oscuro, e prosegue così il suo cammino davanti ad esso, e riappare per contro dopo la sua uscita, per nulla indebolito nel suo splendore. Ora, poichè non si può immaginare alcun motivo per il quale il satellite debba subire una alterazione della sua forza di luce precisamente nel tempo durante il quale esso sta in linea retta colla Terra ed il pianeta, così noi possiamo solo pensare ad effetti di contrasto, per i quali l'occhio è più sensibile che per apprezzamenti assoluti di luce. Se il disco di Giove è eccezionalmente lucente nel luogo davanti al quale scorre il satellite, e l'atmosfera di questo particolarmente libera da nubi esso ci può apparire oscuro, come, ad esempio, ci appaiono oscure le macchie solari, sebbene sia noto che la loro luce è mille volte più viva di quella della Luna piena. Questi passaggi oscuri rinforzano inoltre la congettura che Giove possegga ancora una debole quantità di luce propria, e non come gli altri pianeti risplenda unicamente per riflessione di luce proveniente dal Sole, il che però le nostre analisi fisiche non hanno la possibilità di verificare. Anche le manifestazioni luminose provenienti da una crosta ancora parzialmente incandescente si presenterebbero in taluni luoghi più intense che in altri. Se un satellite si proietta lungo una tal linea, si avrebbe in tal fatto la causa di un oscuramento come effetto di contrasto. Ma che però tale causa sia in parte a cercarsi nel satellite stesso, lo prova la constatazione che i passaggi oscuri non avvengono o sono estremamente rari coi primi satelliti. Questi sembrano essere più di frequente avviluppati da nubi, che i membri lontani del sistema secondario. Ciò si spiegherebbe pure facilmente nell'ipotesi che noi in Giove abbiamo a che fare con un corpo celeste non finito, il quale, in causa della crosta sottile, irradia ancora alcun poco di luce e di calore proprii. Quest'ultimo potrebbe tuttora contribuire alla formazione di nubi sul satellite più vicino, come nell'atmosfera stessa di Giove.

Per spiegare poi ulteriormente lo sdoppiamento così apparentemente enigmatico del più vicino satellite, noi dobbiamo solamente ammettere, che a quell'epoca l'atmosfera di esso si trovò in uno stato di eccezionale serenità fino ad una cintura di nubi corrente ad un dipresso lungo l'equatore. Le parti settentrionale e meridionale del piccolo corpo celeste, erano perciò relativamente oscure, mentre la zona equatoriale del satellite aveva una lucidità eguale a quella del pianeta, sul quale esso appariva scorrere. Ciò è reso manifesto dalla parte superiore della figura 91. Se ora si tien conto dell'errore di irradiazione dell'occhio che fa sì che tutte le parti chiare s'avanzino sulle oscure, allora si spiega anche l'arrotondarsi delle calotte polari che in realtà corrono, facendosi a punta a destra ed a sinistra, che in causa della piccolezza dell'immagine non avrebbe potuto in nessun caso essere visto allo incirca nella forma riprodotta nella nostra figura. Se questa spiegazione fosse la giusta, si dovrebbe poter occasionalmente fare anche la constatazione dell'opposto, quando il satellite attraversi per caso una regione oscura del pianeta. Allora dovrebbero sparire le sue calotte polari e rimanere solo per noi visibile la fascia equatoriale allungata. Ciò avvenne realmente il 3 agosto 1891, come mostra la parte inferiore del disegno.

Se le considerazioni precedenti rendono probabile l'esistenza di macchie oscure permanenti sul primo satellite, noi dobbiamo ancora ammettere che nelle stesse posizioni del satellite rispetto a Giove, esso sia sempre rivolto a noi nel modo medesimo. Da ciò seguirebbe che il satellite rivolge sempre la faccia istessa al

pianeta principale, come avviene per la nostra Luna rispetto alla Terra. Ma ciò è reso molto probabile almeno per i due primi satelliti di Giove, non solamente da ragioni teoriche che svilupperemo più tardi, ma anche nettamente indicato da certe fluttuazioni luminose e periodiche, constatate già da Herschel, e che vennero più tardi investigate da vicino da Engelmann in Lipsia. E vero che questa oscillazione non si può con tutta sicurezza dimostrare per le prime tre lune, ma la quarta splende di regola più debolmente, quando sta a noi più dappresso di Giove, per contro diviene più lucente quando sta in quel tratto dell'orbita situato dietro al pianeta. Se quella luna rivolge sempre al suo pianeta la medesima faccia, allora noi vediamo questa, finchè la luna si trova nella parte dell'orbita lontana da noi; sulla faccia opposta al pianeta principale, per contro, noi possiamo gettare lo sguardo, quando la luna passa fra quello e noi. La stessa apparenza sarebbe esibita dalla nostra Luna ad un casuale abitatore di Venere, a meno che sulla faccia che noi non vediamo le oscure pianure-mari abbiano complessivamente una estensione maggiore che su quella che noi vediamo, ovvero quando su questa meta del nostro compagno che ci rimarrà per sempre sconosciuta si stenda una atmosfera povera di nubi ed assorbente la luce.

Del secondo satellite nulla di particolare abbiamo a dire. Esso è alquanto più piccolo del primo, quasi esattamente grande quanto la nostra Luna, e circola attorno al pianeta ad una distanza di 9 raggi e mezzo di esso, vale a dire di 670.000 km., compiendo una rivoluzione in tre giorni e mezzo.

Il terzo satellite di Giove è il maggiore di tutti, e ancora notevolmente più grosso del pianeta più vicino al Sole, Mercurio; esso misura in diametro circa 5600 km. Esso può allontanarsi dal suo pianeta principale quindici volte il suo raggio, cioè 1.067.000 km. Sebbene la via che esso percorre attorno al suo pianeta sia tre volte più lunga di quella descritta dalla nostra Luna attorno alla Terra, esso la percorre tuttavia quattro volte più in fretta di quella, cioè in 7 giorni, 3 ore e $^3/_4$. In causa della sua relativa grossezza si possono subito avvertire su questo satellite delle particolarità. Riproduciamo alcuni disegni delle macchie di questo satellite eseguiti da Schaeberle nell'Osservatorio Lick (v. fig. 92).

Il quarto satellite si muove attorno a Giove ad una distanza di 26 e $^1/_2$ raggi del pianeta, cioè 1.877.000 km. in 16 giorni, 16 ore e mezzo. Questa luna, la più lontana del sistema gioviale, è di nuovo alquanto minore del terzo, ma maggiore dei primi due, e misura in diametro 4800 km.; essa è all'incirca grande quanto Mercurio. Sono quindi quattro corpi, che per grandezza s'accostano ad un pianeta principale, e che dal potente Giove vengono costretti a circolargli intorno in frettoloso corso. Noi da ciò possiamo scorgere come Giove possa misurarsi col Sole, che esso serve coi suoi lucenti vassalli, anche per la forza colla quale impone delle orbite prefisse ai corpi celesti. Il disco di questo satellite splende di luce notevolmente debole. Se esso apparisse, come gli altri satelliti, privo di diametro, il metodo fotometrico darebbe per la sua grandezza un valore troppo piccolo: una prova della fallacia di questo metodo, del quale però, pur troppo, in molti casi non si può fare a meno.

Il quinto satellite di recente scoperto, appartiene per contro di nuovo ai più piccoli ed otticamente più difficili corpi del sistema solare. Come le due lune di Marte al loro tempo potevano essere viste solo dai più potenti cannocchiali di

quell'epoca, così questa luna fu messa in luce solo dal più potente apparecchio di visione del giorno d'oggi, il cannocchiale Lick. Barnard fu così avventurato, da poter vedere affatto vicino a Giove una stellina di 13ª grandezza il 9 settembre 1892, la quale con rapida vece, appariva ora a destra ora a sinistra del disco lucente del pianeta, ma che però non s'allontanava mai dal pianeta per più di tre quarti

Fig. 92. — Disegni del terzo satellite di Giove, eseguiti da Schaeberle e Campbell all'Osservatorio Lick nel settembre ed ottobre 1891.

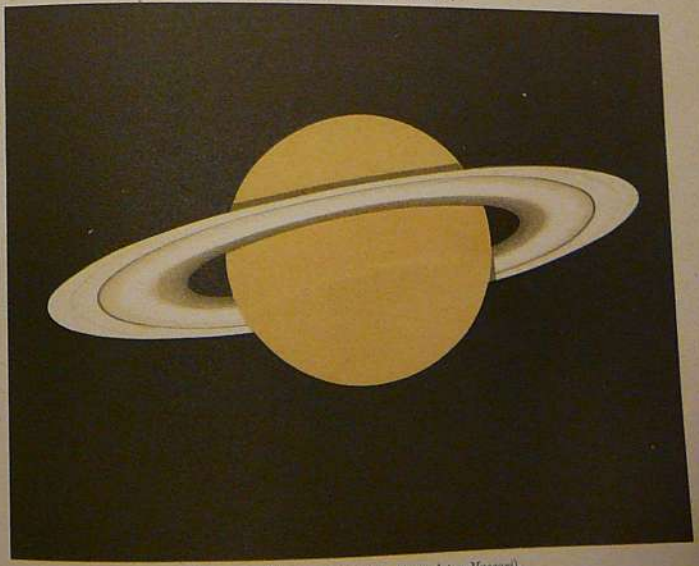
del diametro di Giove. Questo in causa della sua irradiazione rendeva l'osservazione estremamente difficile, così che lo scopritore ed uno o due altri astronomi sono rimasti i soli che abbiano potuto tener dietro a questo minuto puntino di luce misurandolo, o che l'abbiano visto tralucere nei grandi telescopi (*a*). Da quelle misure risulta che la distanza media del piccolo satellite dal centro di Giove è eguale a $1\frac{1}{2}$ diametri del pianeta, ossiano 180.000 km. Esso compie la sua rivoluzione in 11 ore, 57 minuti e un terzo. Esso quindi per girare attorno al centro del suo sistema secondario richiede solo circa due ore di più, che gli ammassi di nubi sulla superficie stessa di Giove. Dallo splendore del satellite si può, come per le lune di Marte ed i piccoli pianeti, conchiudere ad un diametro di circa 160 km.

7. Saturno.

Nessun altro corpo celeste fa l'impressione di sorpresa che produce Saturno col suo misterioso anello, guardato col telescopio. Un anello largo, splendente, circonda la lucente sfera, liscio e netto come lavoro al tornio: e questa forma non ci appare, come la massima parte delle meraviglie celesti, sospesa nello spazio

(*a*) In Italia non si hanno cannocchiali che permettano di vederlo. I satelliti di Marte potrebbero forse essere visti con quello della specola di Brera in Milano, in circostanze eccezionali. (O. Z. B.).

Giove (Secondo *Green* e *Trouvelot*).



Saturno (Secondo *Barnard*, *Trouvelot* e *Mascari*).

al limite della visibilità, così che le possiamo più indovinare che vedere, ma ci sta innanzi distinta come a portata di mano, di altrettanto misteriosa quanto certa (V. la qui annessa tavola colorata). Già Galilei vide nel suo primo cannocchiale la meravigliosa forma di Saturno, sebbene egli non vi abbia ravvisato subito quella di un anello. Dapprima egli credette di riconoscere due satelliti, che stessero così vicini a Saturno da toccarlo quasi. Doveva tuttavia sembrare strano, che essi non corressero attorno al pianeta, ma conservassero invariata la loro posizione. A dire il vero dopo alcuni anni, quel grande filosofo trovò mancare quei supposti satelliti; Saturno si mostrò durante lungo tempo, quale una sfera, al pari degli altri pianeti. Galilei pensò da ultimo, di essersi del tutto ingannato, e da prima nulla rese pubblico della sua osservazione. Ma dopo qualche tempo riapparve la strana configurazione, e dalle due parti del pianeta si mostrarono di nuovo le *appendici* od *anse*. Allora i successori di Galilei videro distintamente la vera forma; il tutto si mostrò allora in forma di una lente, ma con due grossi buchi ai due lati. L'aspetto del pianeta diveniva sempre più enigmatico, finchè per ultimo Huygens riconobbe l'anello come tale. Nella figura 93 si contengono dei disegni i quali mostrano come la figura di Saturno sia venuta poco per volta perfezionandosi per opera dei più antichi osservatori.

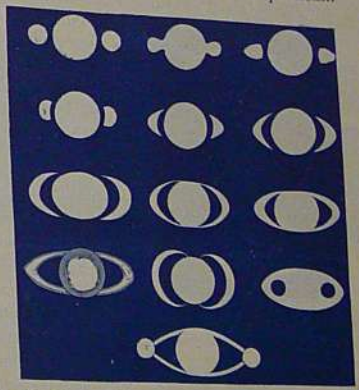


Fig. 93. — Disegni di Saturno col suo anello, dalle prime osservazioni telescopiche. Secondo il ' Systema Saturnium ' di Huygens.

Oggi qualsiasi mediocre cannocchiale mostra non solo l'anello, colla sfera sospesavi entro liberamente, ma lo lascia vedere anche percorso da una linea oscura, che lo separa in due anelli disposti concentricamente. Questa linea è chiamata dal suo scopritore, divisione o separazione di Cassini. Nei moderni telescopi si vede ancora una quantità di dettagli che alla loro apparenza e posizione si rivelano tutti fra loro connessi. Questa armonia visibile nella costruzione di un complicato sistema che è il più ricco fra tutti quanti stanno sotto il governo del Sole, eccita anche in uno spettatore affatto impreparato i più elevati pensieri sull'unità e la grandezza del creato. Davanti a noi si libra nello spazio senza confini del cielo, una sfera visibilmente schiacciata, che è circondata da fascie oscure e chiare. Queste sono disposte simmetricamente rispetto ai poli, che si possono fissare facilmente in posizione, a mezzo dello schiacciamento, e rispetto all'anello; l'anello sembra in certo qual modo non essere che la continuazione di queste fascie, al di fuori della sfera di Saturno; giacchè queste fascie si prolungano anche sopra l'anello. Quanto più addentro noi ci facciamo ad esaminare la costituzione dell'anello, tanto più numerose divisioni scopriamo, e in un numero ognor crescente di anelli separati ed adattantisi l'un l'altro, si scinde il primitivo anello che nella

sua posizione invariata sembrò fino ai giorni nostri un enigma indecifrabile per i teorici. Oltre che da questa attraente e simmetrica costruzione, il pianeta è circondato da una serie di otto satelliti, i quali circolano in orbite fisse attorno al centro del sistema secondario, nel piano medesimo dell'equatore e dell'anello. Chi, guardando questo piccolo sistema planetario anche senza alcuna cognizione intorno alle altre disposizioni del sistema del mondo, potrebbe ancora dubitare, che qui predominino cause comuni alla costruzione di un mondo più vasto, e che l'unità sia il principio fondamentale secondo cui la Natura crea qui, come dapertutto nelle nostre vicinanze più immediate?

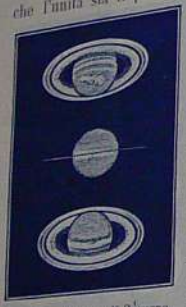


Fig. 94. — Aspetto di Saturno nelle sue posizioni estreme.

Astraendo dai moti relativi dei componenti di questo sistema, si sa che esso senza mutar la sua interna disposizione, percorre lentamente un'orbita definita fra le stelle fisse del firmamento. Solo in 29 anni e mezzo il pianeta col suo numeroso seguito ritorna alle medesime stelle fisse. Per contro la rivoluzione sinodica, vale a dire il tempo che il pianeta impiega per ritornare alla medesima posizione rispetto al Sole, e che regola le epoche nelle quali noi possiamo osservarlo in condizioni più favorevoli, per Saturno è di solo 1 anno e 13 giorni. Evidentemente questo periodo sinodico deve tanto più accostarsi ad un anno, quanto più è lento il movimento del pianeta fra le stelle fisse, che tutti gli anni prendono rispetto a noi la posizione medesima. Durante il lasso di 29 anni e mezzo la posizione del piano dell'anello rispetto alla nostra visuale si muta così, che noi durante una metà di esso vediamo la parte superiore dell'anello, durante l'altra, l'inferiore. In questo caso *sopra* e *sotto* si deve intendere così, che noi chiamiamo *sotto*, quella posizione nella quale (in un telescopio astronomico che capovolge gli oggetti) noi vediamo stare più in basso la parte dell'anello che sta davanti alla sfera, di cui ne copre una maggiore o minor parte: chiamiamo, per contro, metà superiore, quella che sta dietro l'anello. Nel passaggio da una posizione all'altra, e durante un tempo corto noi vediamo l'anello di taglio ed osserviamo con meraviglia che esso è molto sottile. Quando l'anello va divenendo sempre più sottile, e dopo che poco a poco sono scomparse tutte le sue particolarità, esso finisce per apparire quale una linea luminosa sottilissima, che sparisce poi intieramente, così che anche nei migliori cannocchiali e durante alcuni giorni Saturno si mostra affatto privo di anello, come un altro pianeta qualunque. Solo talvolta ne traluce ancora una traccia, che in taluni luoghi si scinde in puntini luminosi, a guisa di collana di perle. Come unico indizio dell'anello rimane al più la sua ombra, che si vede correre come una linea oscura nelle regioni equatoriali della sfera. Poi l'anello si schiude di nuovo, per mostrare l'altra parte che era stata invisibile all'osservatore terrestre per 15 anni, e raggiunge in circa a 7 anni la sua massima apertura.

La figura 94 ci mostra gli aspetti di Saturno nelle sue posizioni estreme. La parte superiore, meridionale dell'anello, fu visibile dal 1878, quando Hall osservò il totale svanire dell'anello, in Washington, col massimo cannocchiale in allora

rivolto al cielo che vi si trovava, fino al 1891. Il 20 ottobre di quest'ultimo anno, l'anello scomparve parimente per tutti i cannocchiali, ma stante la grande prossimità del pianeta al Sole, non si poté osservare il momento preciso della scomparsa. Comstock e Townley all'Osservatorio Washburn, credettero di aver rivedùto traccia dell'anello già il 25, sebbene Holden all'Osservatorio Lick vedesse solo il 29 ottobre apparire in modo indubitabile l'anello. D'allora in poi è visibile la parte inferiore settentrionale dell'anello, ed il piccolo asse della sua forma ellittica si estenderà ancora sempre fino alla fine del secolo presente.

Tranne queste variazioni di figura prodotte dalle diverse aperture dell'anello, Saturno ha in complesso costantemente lo stesso aspetto. Le fasi d'illuminazione causate dal Sole, che con Giove sono ancora avvertibili alle quadrature, si presentano qui solo, per così dire, teoricamente. La distanza dal Sole e da noi è già troppo grande, perchè il raggio luminoso che il pianeta a noi rinvia dalla sua superficie possa fare colla retta che va al Sole un angolo avvertibile per la fase. Saturno è lontano dal Sole 9 volte e $^1/_2$ più della Terra, cioè 1418 millioni di chilometri. Noi vediamo Saturno rispetto al Sole ora verso noi, ora al di là, e dall'una all'altra posizione la sua grandezza apparente varia nel rapporto da $9{,}5 - 1$ a $9{,}5 + 1$. Per cui lo sviluppo angolare del diametro equatoriale varia, in conseguenza di ciò, fra 15″ e 21″. Quindi la grandezza apparente della sfera di Saturno, senza anello, non raggiunge ancora la grandezza di Marte. Ma stante la molto maggiore distanza di Saturno, se ne deduce per contro un diametro reale assai maggiore, che non rimane molto al di sotto di quello di Giove: esso ammonta a 122.400 km., ossia 9 volte e $^1/_2$ il diametro terrestre, ed una volta e mezzo il diametro terrestre meno di Giove. Saturno è il secondo mondo in ordine di grandezza nel regno del Sole.

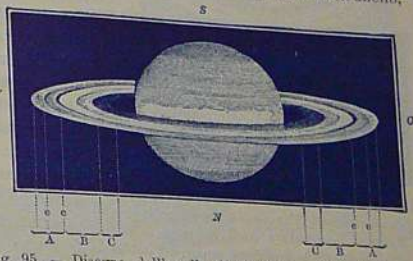


Fig. 95. — Disegno dell'anello di Saturno e delle divisioni: A) anello esterno lucente; B) anello interno chiaro; C) anello oscuro o trasparente; e) divisione di Encke; e) divisione di Cassini.

Anche su Saturno, il diametro polare è notevolmente più corto di quello equatoriale; *lo schiacciamento* è di 1 a 10,7 (*a*). La distanza tra polo e polo è quindi colà di quasi un diametro terrestre più corta, che quella fra due punti dell'equatore, misurata passando per il centro del pianeta. Da questo forte schiacciamento, il massimo fra tutti i pianeti, noi possiamo in precedenza conchiudere ad una rapida rotazione del pianeta attorno al suo asse.

(*a*) Lo schiacciamento, si rammenti, è il rapporto fra la differenza dei due semidiametri, ed il semidiametro maggiore. L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* dà, secondo Kaiser, 1 : 9,18. (O. Z. B.).

Il sistema dell'anello di Saturno si divide visibilmente in tre diverse parti, che sono indicate nella figura 95 colle lettere A, B e C. A, l'anello esterno si stende dal lembo esterno di tutto il sistema fino alla divisione di Cassini già menzionata innanzi. In esso si distingue ancora una più minuta linea di divisione, la così detta divisione di Encke, o linea di lapis (Vedasi fig. 97). Questa linea è ordinariamente vista nel mezzo fra la separazione di Cassini ed il lembo esterno del sistema dell'anello; invece Schiaparelli e l'autore poterono nel 1881 stabilire, che essa da una parte dell'anello sembra portata più vicino al lembo esterno. Una tale posizione eccentrica fu riveduta anche più tardi da Perrotin in Nizza nel 1888, però allora essa si verificò dalla parte opposta a quella nella quale era stata veduta nel 1881 in Milano ed in Ginevra. Anche Trouvelot vide la posizione variabile della separazione di Encke, ed osservò che in generale tutte le zone dell'anello possono rapidamente cambiare di forma e lucentezza. Sopra tutto apparve variabile differentemente la lucentezza delle due anse dell'anello. A Trouvelot si mostrò anche variabile la forma dell'ombra della sfera di Saturno sull'anello, col che si dimostrerebbe una forma mutabile della sezione di Saturno. Tutte queste osservazioni gettano luce sulla composizione dell'anello, sulla quale noi ci addentreremo meglio più avanti.

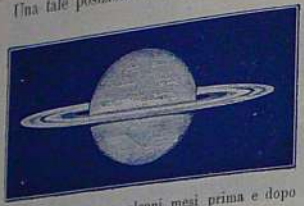


Fig. 96. — Saturno, alcuni mesi prima e dopo la scomparsa dell'anello. La grandezza di questa figura in confronto a quella della figura 95 dà il rapporto fra le grandezze apparenti del pianeta, nelle sue posizioni estreme rispetto alla Terra. Le due figure, vedute da un metro di distanza, si mostrano sotto l'angolo medesimo, sotto il quale vediamo il pianeta in quelle posizioni rispetto alla Terra con un cannocchiale che ingrandisca 300 volte.

Il secondo anello B va dalla divisione di Cassini fino ad un luogo, che solo nei migliori cannocchiali si distingue come delimitazione definita. L'autore non potè vederla in Ginevra, mentre ciò gli venne fatto in Vienna con sicurezza col refrattore di 26 pollici (66 cm.). Nei cannocchiali medi l'anello B scompare a quel limite, con una gradazione di luce assai rapida, nell'oscurità che separa il sistema dell'anello dalla sfera. In questi strumenti, e soltanto con immagini molto nette, si vede solo una traccia del terzo anello. L'anello medio B è per contro il più lucido di tutti, e distintamente più lucido della sfera. In circostanze di visione molto favorevoli, e coi più potenti apparecchi, esso si scinde in un gran numero di anelli distinti, separati da linee finissime, come mostra la nostra figura 98. In essa noi vediamo anche l'anello A percorso da molte linee, fra le quali la separazione di Encke appare solo come la più larga.

Più straordinario di tutti appare l'anello più interno C, il così detto anello di garza o anello trasparente. Esso appare come debole luminosità azzurrognola, attraverso alla quale, in posizioni favorevoli, la sfera rimane visibile come attraverso ad una garza. Sebbene tutta la sua apparenza non abbia la distinzione degli altri anelli, tuttavia esso è nei moderni cannocchiali un oggetto del tutto indubitabile, e si mostra anche come alcun che di materiale, poichè esso è troppo nettamente limitato verso la sfera, e non si va gradatamente perdendo nella

irradiazione di questa. In presenza della specie di cancellata d'anelli abbracciantisi l'un l'altro, che talvolta si nota nelle rimanenti parti della mirabile e lucente ghirlanda che attornia il lontano pianeta, si può facilmente giungere alla congettura, che nell'anello di garza le linee oscure di separazione siano così fitte, che occupino molto maggior spazio delle linee lucide dell'anello stesso, per il che si produce questa forma trasparente come un velo. Barnard dice che: " l'anello oscuro egualmente a spese di quello chiaro, trapassa in esso ".

Fig. 97. — Saturno colla riga di lapis, disegnato da Encke in Berlino il 10 marzo 1838.

Sebbene, come si disse, taluno abbia creduto di poter veder trasparire la sfera di Saturno attraverso all'anello di garza, tuttavia questa constatazione non è del tutto sicura, e perciò già da molto tempo si stava cercando una prova evidente della reale trasparenza di questo anello. Ciò si sarebbe potuto decidere nel miglior modo, in un qualsiasi passaggio di Saturno davanti ad una stella fissa. Ma si aveva poco speranza che un tale avvenimento accadesse. Newcomb aveva calcolato che l'anello passa davanti ad una stella di 3ª grandezza solo, in media, ogni 1000 anni una volta, e davanti ad una stella di 9ª grandezza, che sono relativamente molto più numerose, una volta ogni anno e mezzo. Ora accadde, in modo favorevole ed insperato, che come aveva in precedenza calcolato Marth, l'ultimo satellite di Saturno, Giapeto, attraversò l'ombra dell'anello il 1° novembre 1889, e Barnard potè, servendosi di quel calcolo, tener dietro a quel particolare fenomeno col refrattore di 12 pollici (30,5 cm.) dell'Osservatorio Lick. Barnard determinò allora con sufficiente esattezza le variazioni dell'intensità di luce di Giapeto, durante il passaggio in quell'ombra, e delineò una curva delle fluttuazioni di lucidità. Da essa risultò naturalmente come la lucidità salisse repentinamente al suo massimo, quando quella luna uscì fuori dall'ombra della sfera che l'aveva resa invisibile. Ora si trovò poi che ancora prima che quella qualsiasi ombra dell'anello di garza si stendesse su Giapeto, mentre cioè i raggi solari giungevano ancora radenti tra il pianeta ed il suo sistema di anelli, si verificò una lenta diminuzione della lucidità. Ciò prova che anche qui lo spazio non è del tutto trasparente, e quindi forse disseminato di taluno di quei piccoli corpi, che formano il sistema degli anelli. Ma non appena la luna s'immerse nell'ombra dell'anello di garza, essa cominciò

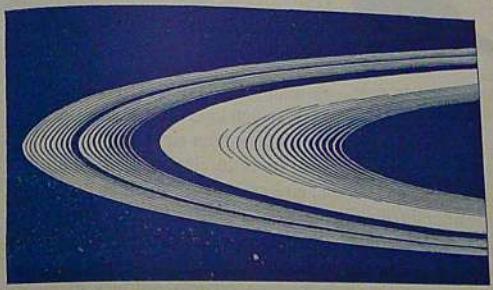


Fig. 98. — Divisioni finissime nel sistema degli anelli di Saturno.

a divenire rapidamente più oscura, rimase tuttavia sempre ancora molto bene visibile, finchè cadde sotto l'ombra dell'anello lucente B. Poco prima la chiarezza era già diminuita rapidamente, ed allora il satellite scomparve completamente, come nell'ombra della sfera stessa. Queste importanti constatazioni, che più tardi furono sottoposte ad una rigorosa prova matematica per opera di Hugo Buchholz, confermano la nostra opinione sulla costituzione degli anelli di Saturno.

Anche la separazione di Cassini, sebbene sembri essere affatto nera, non è completamente libera da materia, vale a dire da piccoli satelliti. Così il 29 novembre del 1883 col grande refrattore di Vienna, l'autore ed altri astronomi videro sul lato orientale dell'anello, nella separazione, due luoghi in cui essa era più oscura, cioè ancora più trasparente che nel rimanente del suo percorso.

Le dimensioni dei tre anelli, secondo misure istituite a Ginevra, sono le seguenti: Tutto il sistema di anelli misura da un estremo all'altro 277.000 km.; quindi lungo il grande asse dell'ellisse dell'anello si potrebbero disporre in fila in modo che si tocchino 21 e $^3/_4$ sfere terrestri. L'anello A misura 20.200 km. fino alla metà della divisione di Cassini, è largo quindi una volta e mezzo il diametro terrestre; quella divisione è una spaccatura di circa 2800 km. di larghezza. L'anello B misura circa 29.000 km., l'anello trasparente 16.900 km., e tra il suo lembo più interno e la superficie della sfera di Saturno intercedono circa 11.600 km., cioè quasi altrettanto quanto un diametro terrestre. In tutto, il sistema degli anelli si estende così da ciascuna parte di 66.100 km., cioè su ogni ansa dell'anello potrebbero stare una accanto all'altra in fila cinque sfere terrestri.

Fig. 99. — Supposta forma della sezione dell'anello di Saturno. Schematicamente disegnata e molto esagerata.

In confronto di queste poderose dimensioni lo spessore cotanto esiguo dell'anello è tanto più notevole e sorprendente. Esso non è misurabile direttamente. Noi sappiamo già che l'anello scompare intieramente quando noi lo vediamo pel suo taglio. Bessel ne aveva conchiuso che esso non poteva essere più spesso di 220 a 230 km. Sembra però che anche questo numero sia troppo alto. Da una osservazione dell'ombra che l'anello gettava durante la sua invisibilità nell'ottobre 1891, Holden concluse (considerando che l'ombra doveva essere più larga dell'anello, poichè il Sole a quell'epoca non mandava i suoi raggi così perpendicolarmente sul taglio dell'anello, come era situata la nostra visuale) che l'anello al più poteva essere spesso 80 km. Quindi se ad un modello dell'anello volessimo dare la solidità del cartoncino, per conservare inalterati i rapporti di grandezza, noi dovremmo fare il disco dell'anello più largo di 1 metro.

Ma però l'anello non è in ogni suo punto egualmente sottile, esso ha un certo spessore che non pare per nulla essere invariabile, come lo provano certi particolari dell'ombra della sfera che si proiettano sull'anello. Per quanto si può giudicare dai contorni dell'ombra, i singoli anelli si vanno assottigliando verso la sfera, mentre andando verso il difuori si rigonfiano e si arrotondano. La sezione di ciascun anello ha quindi dalle due parti all'incirca la forma di una pera, come appare esageratamente dalla figura 99. Solo in pochi casi si notarono delle particolarità,

disuguaglianze, o luminosità irregolari non distendentisi concentricamente sull'anello, cosicchè non si posseggono osservazioni dirette ineccepibili sulla velocità di rotazione del sistema di anelli. Teoricamente, la durata della rivoluzione nelle diverse parti dell'anello deve essere diversa, cosicchè mentre l'orlo interno dell'anello trasparente ha compiuto una rotazione in ore $5{,}_{42}$, l'orlo esterno di A ne richiede per ciò fare $13{,}_{8}$. I singoli anelli si muovono quindi con velocità differenti, le quali però sono tutte molto grandi: il lembo più interno dell'anello precede naturalmente le parti superficiali dell'equatore di Saturno che sono ad esso così prossime.

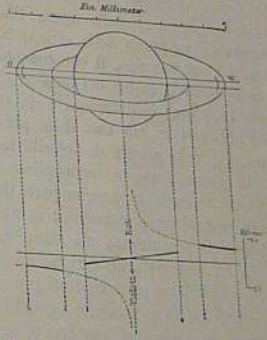


Fig. 100. — Posizione delle linee di assorbimento nello spettro di Saturno e del suo anello, ottenute teoricamente.

In questi ultimi tempi lo spettroscopio ci ha potuto procurare un'interessante conferma di questo rapporto di velocità, e del carattere meteorico del sistema di anelli che ne deriva. Avendo Keeler nell'Osservatorio di Alleghany rivolto la fessura del suo spettroscopio a Saturno, così che essa formava il grand'asse del sistema dell'anello, ne risultò uno spettro quale quello che noi abbiamo riprodotto nella tavola: *Spettri di stelle fisse*. Quest'ultimo fu riprodotto in eguale maniera, più tardi, da Campbell all'Osservatorio Lick, ma però con mezzi migliori. Un tale spettro doveva provenire dalla sfera di Saturno e dalle due anse dell'anello che ad essa corrono così vicine. Per confronto si riprodusse ancora, sopra e sotto, uno spettro della luce della Luna. Le striscie che attraversano orizzontalmente questo sistema di spettri corrispondono agli intervalli fra Saturno e l'anello e fra gli spettri di Saturno e della Luna. Le linee di assorbimento di Fraunhofer appaiono correnti normalmente. Esse dovrebbero propriamente attraversare senza interruzione la fascia colorata. Ma poichè ciò non avviene, e le linee di Saturno corrono invece obliquamente a quelle dello spettro lunare e si mostrano notevolmente spostate, così noi dobbiamo concluderne che gli spostamenti provengono da movimenti della sorgente luminosa.

Nella figura 100 è rappresentato schematicamente il modo di questo spostamento per il caso nostro. Le linee parallele che attraversano Saturno ci danno la posizione della fessura, sfera ed anello si muovono nella direzione delle freccie da Est ad Ovest. Sotto è data la posizione di una linea di assorbimento, quale dovrebbe verificarsi secondo il calcolo, quando le singole parti dell'anello si movessero indipendentemente, secondo le leggi che esamineremo più da vicino nella seconda Sezione di questo lavoro. La velocità delle parti dell'anello deve quindi, come si disse avanti, aumentare dal di fuori andando verso l'interno. Sulla parte orientale ove il movimento è diretto verso di noi, una linea spettrale dell'ansa corrispondente deve quindi essere spostata verso il violetto, ma verso la sfera ancora più che verso la parte esterna, quindi la linea deve correre obliquamente. Una linea prodotta dalla sfera deve quindi anche essere disposta

obliquamente, ma in un'altra direzione, poichè la velocità delle sue parti rispetto alla visuale, procedendo verso il centro del disco apparente del pianeta, dove essa diviene evidentemente nulla, diminuisce costantemente, per passare di poi alla direzione opposta. Una linea prodotta dall'ansa occidentale deve in complesso venire sospinta verso l'estremo rosso, ma meno verso la parte esterna che verso quella interna.

Rilievi spettroscopici, che fino ad oggi furono possibili solamente per via fotografica, confermano brillantemente queste previsioni teoriche, come si vede ad una semplice ispezione della figura. Più esatte misure di 50 linee diedero per il movimento di un punto della sfera di Saturno stessa al lembo del suo disco apparente km. 10,2 al secondo, il che concorda intieramente colle misure dirette; e per un punto verso il mezzo del sistema dell'anello chiaro 18 km. La teoria diede per esso 18,8 km.; la differenza è da attribuirsi all'incertezza della determinazione. Noi abbiamo in ciò una delle più notevoli conferme del principio di Doppler-Fizeau, per la misura di velocità lungo la nostra visuale.

In mezzo a questa meravigliosa forma di anelli si libra la grossa sfera del pianeta. Secondo la maggior parte delle serie di misure, i centri della sfera e degli anelli coincidono esattamente; in alcuni casi però si crede di aver notato una debolissima eccentricità, ma stante la sua tenuità non la si potè accertare.

La sfera di Saturno è come quella di Giove cinta da fascie chiare e oscure, almeno nelle sue parti centrali più chiare. Ricerche fotometriche su queste relative lucidità hanno condotto a conclusioni importanti sulla costituzione dell'anello. Ma però qui dobbiamo interdirci di penetrare più addentro, nella misteriosa dipendenza di queste forme, prima di aver imparato a conoscere la natura della forza centrifuga. Noi dobbiamo qui limitarci a dichiarare, che la teoria è riuscita a dimostrare con sicurezza, che, come già si disse molto più avanti, gli anelli sono composti da un gran numero di minutissimi satelliti, i quali in questa copia del sistema solare rappresentano la parte della cintura di piccoli pianeti, ma che sono fittamente addensati, quasi come le varie particelle materiali di una nube di polvere, che però hanno conservato una certa indipendenza fra loro, ma che debbono complessivamente mantenersi in quell'ordine che è imposto dalla potenza che trascina la nube.

L'*albedo* di Saturno, espressa in quella di Marte, è 3,28: quindi ancora maggiore di quella di Giove, e quasi grande quanto quella del pianeta relativamente più lucido, Venere (3,44). Noi potremmo da ciò già conchiudere, dietro l'esperienza finora acquistata, ad un denso involucro di nubi attorno a Saturno, e realmente ciò è constatato dalla visione diretta e dallo spettroscopio. Concordano in ciò Huggins, Vogel, Secchi, Janssen, ed ammettono che Saturno possiede colla sua sfera un corpo che ha uno spettro molto simile a quello di Giove, e che in particolare poi, la banda rossa, già menzionata per Giove, appare qui di nuovo. È molto interessante, ma prevedibile in cospetto della dimostrazione accennata della costituzione dell'anello, il fatto constatato anche recentemente da Keeler coll'aiuto del grande refrattore Lick, che quella banda atmosferica rossa non compare nello spettro dell'anello. Questo non è quindi circondato da alcun inviluppo aereo.

Le striscie che corrono attorno a Saturno gli danno completamente l'aspetto di Giove, quando si guardi questo con ingrandimenti minori, come si deve fare

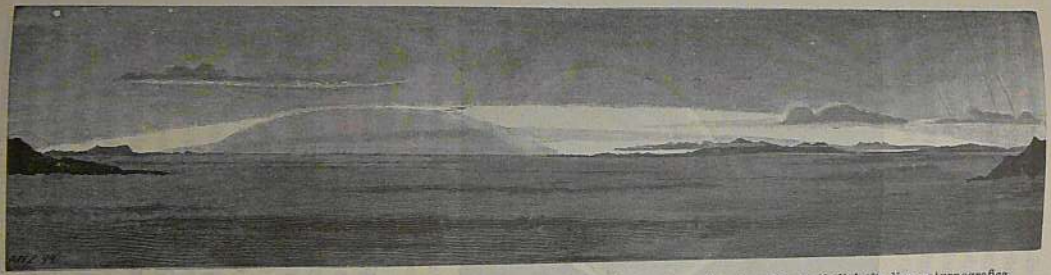


Fig. 101. — Veduta dell'anello di Saturno da un punto della superficie del pianeta, sotto circa 70 gradi di latitudine saturnografica.

Fig. 102. — Veduta dell'anello di Saturno da un punto della superficie del pianeta, sotto circa 50 gradi di latitudine saturnografica.

per porsi in circostanze simili, Saturno trovandosi ad una distanza quasi doppia. È quindi probabile che se questo fosse ugualmente distante da noi, come il suo grande compagno più prossimo al Sole, noi vedremmo su di esso altrettante particolarità quante su Giove. Ma in realtà solo di rado si avvertono sulla sfera delle macchie, però non così raramente come sugli anelli. Da ciò si dedusse per la durata della rotazione della sfera 10 ore, 14 minuti e mezzo, la quale è di nuovo molto simile alla rotazione di Giove. La velocità di un punto dell'equatore di

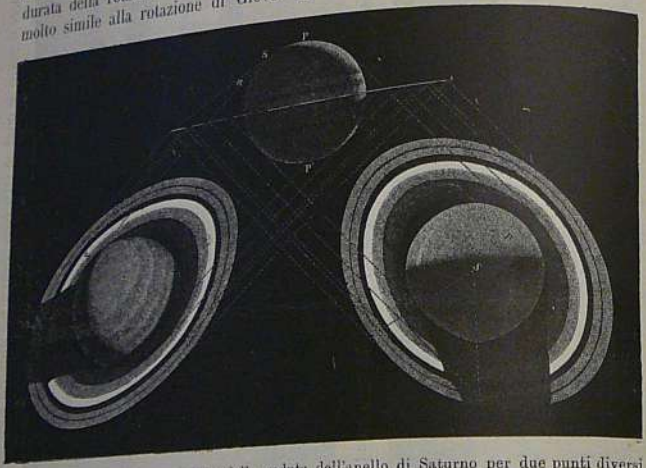


Fig. 103. — Costruzione prospettica della veduta dell'anello di Saturno per due punti diversi della superficie del medesimo.

Saturno, è quindi non molto minore di quella di Giove, ed ammonta circa a km. 10,4 al minuto secondo. Questa enorme velocità spiega la disposizione a striscie delle formazioni di nubi su Saturno, nel modo medesimo che su Giove. Era quindi anche da aspettarsi che pure qui si constaterebbe una dipendenza dalla latitudine della durata di rotazione, non appena le particolarità della superficie lo permettessero. Ora ciò è veramente accaduto. Come per Giove, le macchie della zona equatoriale mostrano una rotazione notevolmente più rapida; Stanley Williams osservò nell'anno 1891 un numero di macchie oscure e chiare fra 6° di latitudine Nord e 12° di latitudine Sud, e ne trovò la durata di rotazione di 10 ore e 13 minuti, quindi di un minuto e mezzo inferiore a quella data sopra, come quel medesimo astronomo ha osservato fra i 17° e 37° di latitudine.

Anche colla semplice visione si può constatare sopra Saturno, come su Giove, la divisione in varie zone, calda, temperata e polare. La più chiara è la zona equatoriale la cui larghezza oscilla fra 12° e 18°. Le due fascie della zona temperata sembrano distendersi di qui fino a circa 40° a Nord ed a Sud: secondo misure istituite a Ginevra nel 1881 la zona meridionale corrispondente toccò fino 47°, quella settentrionale era a quell'epoca coperta dall'anello. La regione polare consecutiva

apparve allora un po' più chiara dei suoi dintorni; ma più oscura della cintura equatoriale. La lucentezza delle regioni polari sembra essere soggetta ad oscillazioni, che secondo le congetture di Herschel dipendono dalle stagioni dell'anno. L'anno di Saturno abbraccia l'egual lasso di tempo che l'apparente alternarsi di forma del sistema del suo anello, cioè 29 e mezzo dei nostri anni. Siccome entro questo intervallo di tempo vengono a vicenda rischiarate dal Sole l'una e l'altra parte dell'anello, così anche nelle regioni polari del pianeta cotanto lontano dal Sole si avvicendano solo una volta ogni 15 anni il giorno e la notte. Quando dopo 15 anni di notte polare, una tal regione viene di nuovo illuminata dal Sole, essa sembra essere un po' più lucida che l'altra zona polare opposta percossa costantemente dai raggi solari durante un eguale intervallo di tempo. Almeno, Herschel credette di poter conchiudere ciò dalle sue osservazioni istitnite fra il 1793 ed il 1806. Sopra un disegno di Williams la zona polare Sud è rappresentata distintamente più oscura di quella settentrionale. Nel 1886 l'autore la vide più chiara delle regioni circostanti; quasi all'incirca così scorgesi sul disegno di Williams la zona polare settentrionale. Questa è quella che ora lentamente dalle tenebre della notte si volge lentamente al Sole, mentre allora ciò faceva la calotta meridionale. La distribuzione di chiarezza sta quindi nei due casi all'unissono colle congetture di Herschel. Naturalmente qui noi non dobbiamo rappresentarvi delle condizioni, quali quelle che vedemmo più esattamente esistere sul vicino Marte, giacchè della superficie di Saturno e Giove non vediamo nulla affatto; non si può quindi in modo veruno discorrere di rivestimenti di ghiaccio e neve, che cambiano colle stagioni dell'anno. Le nostre constatazioni pertanto si riferiscono esclusivamente all'involucro esterno di nubi del pianeta, e noi possiamo solamente congetturare che anche là, come presso di noi, l'irradiazione solare abbia un'influenza sulla grandezza dello sviluppo delle nubi.

È sempre stata una questione che ha eccitato l'interesse, quella di poter immaginare quale aspetto presenti l'anello di Saturno agli abitanti di esso, se pur ve ne sono. Nella maggior parte delle opere popolari di astronomia si trovano di ciò delle ideali e straordinarie rappresentazioni, nel tracciare le quali si rimase contenti con considerazioni superficiali sui rapporti di posizione. Per contro alle due rappresentazioni che ne demmo nelle figure 101 e 102 stanno a base le date costruzioni prospettiche (fig. 103). Le linee punteggiate determinano le visuali limiti dell'immagine, e la sezione dell'anello che rimane ancora visibile dal corrispondente punto di stazione. La prima rappresentazione di paesaggio saturnio riproduce la veduta da un punto sotto 70° di latitudine; sul disegno in prospettiva questo punto è indicato con S. Nel primo paesaggio l'anello si mostra come un arco esteso in lunghezza all'orizzonte, non dissimile dai nostri archi crepuscolari dopo il tramonto del Sole, fenomeno per nulla particolarmente notevole per un occhio terrestre, al quale tutt'al più potrebbe sembrare strana la linea oscura prodotta dalla separazione di Encke. Solamente questo arco crepuscolare non cambia la sua posizione rispetto all'orizzonte, bensì per ogni latitudine l'anello mantiene sempre la stessa posizione; unicamente cambia la sua chiarezza a seconda dell'epoca del giorno e dell'anno. L'ombra del contorno rotondo che cade sull'anello proviene dalla sfera. Se ora dal nostro punto di stazione procediamo verso il polo, l'anello scompare sotto l'orizzonte, e nelle vicinanze immediate del polo non lo si vede più. Per contro se

noi ci avviciniamo all'equatore, l'anello s'innalza sempre più, e sotto una latitudine saturnografica corrispondente per noi a quella di Berlino, esso mostra la forma apparente dalla nostra seconda rappresentazione di paesaggio. Ma quanto più ci avanziamo verso l'equatore, tanto più scema la larghezza dell'anello che sale sempre più a perpendicolo sull'orizzonte, finché all'equatore medesimo esso appare come una sottilissima linea appena avvertibile e passante nella parte più alta del cielo, quasi come se la natura per facilitare i lavori astronomici avesse diviso la sfera celeste in due emisferi separati visibilmente e precisamente a mezzo di una linea, che per gli astronomi di Saturno indica un piano fondamentale, al quale bisogna riferire tutte le misure ed i movimenti, come presso di noi avviene per l'equatore.

Ma il nostro occhio rimarrebbe attonito anche per un altro straordinario fenomeno del cielo del più meraviglioso di tutti i pianeti; le vicende delle otto lune, che al di là dell'anello lo circondano colle più diverse grandezze, distanze, velocità e fasi, così che il cielo di Saturno è di gran lunga il più ricco ed interessante di tutti quelli nei quali il nostro spirito può librarsi sopra le fidate ali della scienza.

La prima di queste lune, denominata Mimas, appartiene col suo immediato vicino a quella categoria di satelliti prossimi al pianeta che abbiamo già incontrato presso Marte e Giove. Appena 52.000 km., ossia il quadruplo del diametro terrestre, separano Mimas dal lembo esterno dell'anello. Il minuscolo puntolino luminoso è per ciò stesso per lo più difficile a vedersi nei cannocchiali anche potenti. L'autore lo vide in Vienna, col telescopio di 26 pollici (0,66 m.) che vi si trova, appena più facilmente che nella limpida atmosfera di Ginevra, col refrattore di 10 pollici (0,25 m.) di apertura; per contro in Madras quella luna potè essere occasionalmente vista con un cannocchiale di 6 pollici (0,15 m.). Misure fotometriche di Pickering danno a quella luna un diametro di 470 km., cosicchè essa è pur sempre delle dimensioni dei grossi asteroidi; solo la sua distanza da noi ce lo fa apparire così minuto. Esso percorre l'ambito della sua orbita in meno di un giorno terrestre (22 ore e 37 minuti), orbita quasi uguale a quella della nostra Luna. La seconda luna, Enceladus, che è appena più grossa di Mimas, ma a motivo della sua distanza dal lucido anello molto più facile a vedersi, si muove nella sua orbita intorno a Saturno in 1 giorno, 8 ore e 53 minuti, e può allontanarsi dal centro del pianeta di 3,9 raggi di questo. Teti, la terza luna, è già notevolmente più grossa dei suoi più prossimi compagni di viaggio; secondo Pickering è circa una volta maggiore di quelli. La sua massima distanza è di 4,8 raggi di Saturno; la durata della sua rivoluzione di 1 giorno, 21 ora e 18 minuti. La seguente quarta luna, sembra essere di nuovo più piccola di Teti, però ciò non è del tutto sicuro, poichè queste, come le altre lune di Saturno, sembrano oscillare nella loro intensità luminosa, il che si congettura di alcune altre lune. Dalla loro periodicità si è concluso alla coincidenza della durata della rivoluzione con quella della rotazione attorno all'asse. Dione si muove ad una distanza di 6,2 raggi di Saturno, intorno a questo, in 2 giorni, 17 ore, 41 minuti. Il quinto satelite, Rhea, è decisamente maggiore dei più prossimi; secondo Pickering esso ha un diametro di 1200 km. La sua distanza è di 8,6 raggi saturnini, e la durata della sua rivoluzione è di 4 giorni, 12 ore, 25 minuti.

Queste prime cinque lune, le cui grandezze non sono fra loro troppo diverse, ma che non raggiungono quella dei quattro antichi satelliti di Giove, formano un gruppo speciale, che può essere paragonato con quello dei pianeti minori, includendovi Marte. Noi vedremo più tardi come questi pianeti diversifichino dai grandi pianeti esterni in quasi tutti i loro tratti caratteristici. Già vedemmo, descrivendo il mondo di Saturno, come esso si assomiglia grandemente a quello di Giove.

La sesta luna, Titano, prende in questa meravigliosa copia del sistema solare, il posto di Giove. Essa è di gran lunga il massimo corpo del sistema di Saturno. Lo si può, con forti ingrandimenti ed in circostanze atmosferiche favorevoli, discernere ancora propriamente come un disco, ed apprezzandone la grossezza si ottiene un diametro dai 2 ai 3 mila km. Secondo misure istituite da Barnard nel 1895 il satellite avrebbe per contro un diametro di $0,633''$, e raggiungerebbe quindi la dimensione di 4000 km. La determinazione fotometrica della grandezza, dà per contro un valore minore: ma quando Titano passò davanti a Saturno l'11 marzo ed il 12 aprile 1892, si avvertì che esso era più oscuro della fascia equatoriale del pianeta; ha quindi un'*albedo* nettamente minore di quella di questo. Il metodo fotometrico però presuppone un'eguale facoltà di riflessione, col che si spiega in qualche modo la menzionata differenza. La figura 104 rappresenta il fenomeno del passaggio. L'ombra del satellite lo precede: la prima è distintamente maggiore del corpo che la proietta, constatazione fatta spesso in modo notevole anche coi satelliti di Giove, la quale attende ancora una minuta spiegazione. Perciò anche le ombre di Mimas ed Enceladus si possono riconoscere molto più distintamente sul pianeta, di quello che si potrebbe attendere dalla piccolezza di questi corpi.

Fig. 104. — Passaggio di Titano davanti a Saturno l'11 marzo 1892, osservato da Freeman.

Come i due gruppi dei pianeti interni ed esterni sono fra loro separati da un gran vuoto, che nel sistema solare è riempito dalla fascia degli asteroidi, così noi troviamo anche una grande distanza fra Rhea e Titano: il primo, come fu detto sopra, dista dal centro del suo sistema di $8,_9$ raggi saturnini, il secondo di $19,_9$, cioè di 2.440.000 km., e si muove attorno a quel centro in 15 giorni, 22 ore, 41 minuti.

Poichè il vuoto tra Rhea e Titano è ragguardevole, si venne nel pensiero che stante la grande rassomiglianza del sistema di Saturno con quello del Sole, anche qui si troverebbe probabilmente una zona di piccoli satelliti: però prima della scoperta del settimo satellite, Iperione, che fu veduto quasi nel medesimo tempo da Bond in Cambridge (Nord America) e da Lassell a Malta li 16 e 18 settembre 1848, fra Titano e l'ultima luna del sistema, Giapeto rimaneva sempre un vano enorme che andava da $19,_9$ fino a 58 raggi saturnini. Ma qui si trovò la settima luna, Iperione, la più piccola fra tutte quelle di questo sistema con un diametro di circa 300 km. Poichè essa si può allontanare dal pianeta di $38,_{25}$ raggi saturnini, rimane un largo spazio libero, nel quale si deve cercare il minuto puntino luminoso, quando con calcoli precedenti non si sia determinata prima la sua posizione. Perciò solo pochi astronomi ebbero qualche volta alla vista questo

lontano e piccolo concittadino del nostro regno solare. Esso compie la sua rivoluzione in 21 giorni, 6 ore, 38 minuti. Non è impossibile che Iperione sia solo la massima di una schiera di lune, che formino, come contrapposto agli asteroidi, in questa regione un più largo anello attorno a Saturno.

L'ottava ed ultima luna, Giapeto, è, secondo Pickering, all'incirca della grossezza di Teti, o di Dione, e il suo diametro è in cifre rotonde di 800 km. La sua lucidità è sottoposta in modo spiccato ad alternative periodiche, dalle quali noi possiamo conchiudere all'eguaglianza delle durate della rivoluzione e della rotazione. Quando Giapeto si trova nella sua elongazione occidentale, esso è anche per cannocchiali di media potenza un oggetto non difficile a rintracciare; per contro nella porzione orientale della sua orbita esso scompare quasi intieramente. Questa luna deve quindi avere macchie chiare e oscure, le quali sono molto disugualmente distribuite sulla sua superficie. In ciò è particolarmente notevole, che questa distribuzione non può essere tale che la parte costantemente rivolta a Saturno si comporti, per quanto riguarda il potere riflettente, in modo diverso da quello dell'altra che sta sempre rivolta alla parte opposta a Saturno, come si potè stabilire essere il caso per l'ultimo satellite di Giove. D'altra parte per ragioni cosmogoniche che svolgeremo più tardi, non si può credere che un corpo che ha due emisferi topograficamente diversi, debba questa sua diversità ad altro che all'azione permanente di un altro corpo celeste. Quest'azione costante, emanò nel caso presente in realtà da Saturno, e così operò, che mantenne la luna nella sua orbita, e la costrinse a rivolgere al corpo centrale sempre la medesima parte. Ma se la faccia presentemente sempre rivolta a Saturno, fosse più lucida dell'altra, allora evidentemente Giapeto dovrebbe durante le sue due elongazioni apparire egualmente lucente, per contro, divenire più chiaro quando sta al di là del pianeta che quando trovasi nelle elongazioni, ma scomparire al di qua. Ciò non avviene, bensì gli emisferi con *albedo* inuguale sono così disposti, che Giapeto, guardato da Saturno, appare sempre egualmente lucido. Noi dobbiamo per conseguenza conchiudere, che una perturbazione ha fatto ruotare almeno di un quarto di giro, spostandola dalla sua primitiva posizione, la parte del satellite rivolta per lungo tempo verso Saturno.

Se queste conclusioni non appartengono precisamente alla parte fin qui svolta di astronomia descrittiva, tuttavia esse ci dànno un esempio delle conseguenze interessanti che si possono talvolta dedurre dalle osservazioni, che mentre si stanno raccogliendo, e nella parte presente del nostro lavoro sono necessariamente accumulate, possono sembrare insignificanti e senza valore. Questi accenni a perturbazioni antiche dello stato normale s'aggiungono ad altri, che noi conosceremo più da vicino trattando dei movimenti dei pianeti, e che mostrano che a quei lontani limiti del sistema avvennero una volta delle azioni la cui causa ci è intieramente sconosciuta.

Giapeto ha una rivoluzione della durata di 79 giorni, 7 ore, 49 minuti, che è così quasi tanto lunga quanto quella del pianeta il più vicino al Sole, Mercurio (88 giorni). Perlanto su questo satellite, il giorno e la notte si alternano ad intervalli di 40 dei nostri giorni. Fino a 58 raggi saturnini, alla quale distanza circola Giapeto, si estende la sfera d'azione del meraviglioso pianeta, che ancora un secolo fa era per le nostre conoscenze l'ultimo termine del dominio del Sole.

Oggi noi restiamo stupiti quando vediamo che gli antichi astronomi dell'India avevano dato a Saturno il disegno di un occhio, che dà ad esso quasi la forma del pianeta dall'anello, quale Galileo lo vide nel suo imperfetto cannocchiale. Questa circostanza fu aggiunta agli altri argomenti, che condussero alla credenza nell'esistenza di un popolo di elevata civiltà, che sarebbe in tempi preistorici scomparso nell'Oceano Indiano, senza lasciar di sè il benchè minimo vestigio. È tuttavia molto più probabile una curiosa coincidenza, poichè il pianeta più lontano fu caratterizzato come l'occhio dell'infinito, e per esso fu trovato ancora un simbolo ben diverso, sebbene alla figura assai simile a quello di un serpente che si morde la coda, che circonda la sfera del mondo.

[Le dimensioni dell'anello di Saturno sono date nel testo, al pari del diametro del globo del pianeta, diversamente da quanto sono date nell'*Annuaire du Bureau des Longitudes* e da altre autorità.

Secondo l'*Annuaire* il diametro del globo di Saturno è 9,5, quello della Terra essendo 1; esprimendo questo in chilometri si ha 12.742 km., e per il diametro di Saturno 118.500 km. (nel testo si ha 122.400). Il diametro esterno dell'anello esterno risulta di 264.260 km., quello interno dell'anello esterno di 232.260. Il diametro esterno dell'anello interno 219.470, l'interno di 175.380 km. (O.Z.B.)].

8. — Urano.

Urano, all'opposto degli altri grandi pianeti conosciuti da tempo immemorabile come stelle di natura speciale, è il primo corpo permanente del nostro sistema solare accidentalmente scoperto. La storia della sua scoperta rassomiglia a quella dei piccoli pianeti. Herschel, che allora era ancora un dilettante di astronomia affatto sconosciuto, che si era preparato nelle sue ore di ozio un piccolo telescopio a specchio, s'imbattè il 13 marzo 1781 casualmente in una stella discretamente lucida, la quale, benchè molto lentamente, pur cambiava la sua posizione fra le stelle fisse. Allora egli e gli altri astronomi non potevano naturalmente credere altro, se non che si era scoperta una nuova cometa, non altrimenti da quello che come si sa avvenne per Cerere. Come Gauss, così qui fu il grande Laplace, che dopo aver per qualche tempo tenuto dietro ai movimenti del nuovo venuto, dimostrò che esso non descriveva l'orbita di una cometa, la quale venendo dall'infinito sarebbe stata di nuovo respinta nell'infinito per non essere mai più riveduta, da un corpo esercitante un'azione sul suo percorso; ma provò che i fatti constatati dall'osservazione si potevano solamente spiegare ammettendo che il nuovo corpo celeste si movesse in un'orbita pressochè circolare, e che quindi aveva sempre appartenuto al sistema solare. Ciò si confermò in realtà, e si ritrovò subito un numero di antiche osservazioni del pianeta che permisero di ristabilire le sue differenti posizioni fra le stelle fisse fino all'anno 1690.

Urano è visibile ad occhio nudo in circostanze favorevoli, ed alcune tribù delle isole del Mare del Sud pretendono di averlo da lungo tempo conosciuto, come una stella errante. Nel cannocchiale esso appare come un piccolo disco di circa 4" di

diametro. Durante la rivoluzione sinodica del pianeta, che è di 4 giorni più lunga di un anno, quel diametro varia di soli 0,7 secondi d'arco, secondochè Urano si trova in opposizione od in congiunzione col Sole. Da questa tenue variazione di grandezza si può senz'altro comprendere la grande distanza che ci separa dal pianeta. In realtà la sua scoperta ha allargato i confini del sistema solare, che fino a Saturno s'estendeva a 9,5 distanze solari *(a)*, di più del doppio, giacchè Urano dista dal centro del sistema di 19 distanze solari, ossia di 2851 milioni di chilometri. Da ciò si deduce che in cifre rotonde, il suo diametro è di 53000 km., cioè più del quadruplo del diametro terrestre. Però questi dati, stante il piccolo diametro apparente e la grande lontananza, possono facilmente essere sbagliati di 1000 km. La decima parte di un secondo d'arco, alla distanza di Urano abbraccia circa 1000 km. Urano è pertanto bensì molto più piccolo di Saturno e di Giove, ma tuttavia notevolmente più grande dei pianeti interni.

Fig. 105. — Spettro di Urano, fotografato da Keeler nell'Osservatorio Lick.

Ma non solo per questo riguardo e per la posizione Urano appartiene al gruppo dei pianeti esterni, ma per quanto si può giudicare alla sua grande distanza, esso ha anche tutti quegli altri caratteri che distinguono Giove e Saturno dai pianeti interni affini alla Terra. Prima di tutto l'*albedo* e lo spettro mostrano ancora un'atmosfera molto densa. L'*albedo* relativa di Urano è quasi esattamente grande quanto quella di Giove, e vale 2,73 volte la relativa lucidità di Marte. Che questa notevole facoltà di riflessione, anche qui con e su Giove e Saturno, sia prodotta da un denso strato di nubi, è provato dallo spettro rappresentato nella figura 105, che fu fotografato da Keeler nell'Osservatorio Lick. Benchè Urano per la sua grande lontananza sia già così debolmente illuminato, che le linee di Fraunhofer dello spettro solare spariscano del tutto o quasi, tuttavia si mostrano ben chiaramente delle larghe bande, che senza dubbio sono prodotte dall'assorbimento dell'involucro del pianeta. Anche qui presso i 618 μμ appare di nuovo molto forte quella banda che non compare nello spettro dell'atmosfera terrestre, e che è caratteristica delle atmosfere di Giove e di Saturno, e che quindi denunzia una analoga costituzione fisica e chimica di questi corpi celesti, ai quali per questo rispetto s'aggiunge anche Nettuno, l'ultimo dei pianeti esterni. Ma lo spettro di Urano mostra inoltre un numero di bande d'assorbimento potentemente distinte, che man-

(a) L'espressione *distanze solari* è quale si trova nel testo. Si avverta che per distanza solare, o come sarebbe meglio dire per unità astronomica delle distanze, s'intende la distanza media della Terra dal Sole, il cui valore troveremo nella seconda parte del Trattato.
(Nota di O. Z. B.).

cano nei due membri maggiori di questo gruppo di pianeti. Quindi l'atmosfera di Urano, oltre le proprietà che ha comuni con quelle atmosfere, gode di altre sue speciali. Ma non possiamo dire ora di quali sorta siano le masse di gas che producono questo assorbimento. Alla soluzione di una tale questione si richiedono ben più accurati studi nel laboratorio fisico e chimico, per darci indicazioni circa il modo con cui gli spettri di assorbimento di masse gasose sono modificati da alte pressioni e da variazioni di temperatura.

Stante la piccolezza del dischetto del pianeta, non si scorgono quasi punto dettagli sulla sua superficie. Ma se pur talvolta se ne notarono alcune traccie, vi si manifestò il carattere di striscie, come sui suoi due grossi parenti. La figura riproduce molto esagerate alcune striscie a diramazioni che Holden crede di aver visto il 27 aprile 1891 col refrattore Lick. Una configurazione affatto simile fu riveduta anche più tardi dal medesimo astronomo. A questi sembrò che anche Urano ruoti molto rapidamente attorno al suo asse. Brenner è pure di questa opinione. Non si potè mai constatare in modo ineccepibile un qualsiasi schiacciamento, che indirettamente accennerebbe ad una rapida rotazione, sebbene la maggior parte degli osservatori crèda di aver constatato uno schiacciamento equivalente a quello di Saturno. D'altronde esso sarebbe probabile in causa delle altre relazioni del pianeta con Saturno e Giove.

Fig. 106.— Urano secondo C. S. Holden.

Dove noi abbiamo riconosciuto lo schiacciamento, oppure la posizione dell'equatore, in un pianeta che era circondato da satelliti, colà questi correvano assai prossimamente nel piano dell'equatore. Se ciò si verificasse anche per Urano, il diametro più corto del pianeta non dovrebbe come per gli altri pianeti giacere nella direzione Nord-Sud, ma bensì perpendicolarmente a questa, il che sembra avvenire in realtà; giacchè le sue quattro lune si muovono in questa posizione anormale. In ciò ritroviamo un'altra prova dell'opinione, che ai limiti del sistema planetario devono una volta essere accadute delle perturbazioni sconosciute che hanno potentemente alterato le relazioni di posizione di questi corpi, che in principio erano necessariamente simili.

Fig. 107.— Grandezza apparente di Urano nelle sue posizioni estreme.

Quelle quattro lune, in ordine alla loro distanza da Urano, sono denominate: Ariel, Umbriel, Titania e Oberon. Le loro distanze secondo il medesimo ordine sono in raggi del pianeta ed in chilometri rispettivamente $7{,}7 = 194.000$ km., $10{,}8 = 271.000$ km., $17{,}6 = 444.000$ km., $23{,}6 = 593.000$ km. Le durate delle rivoluzioni sono 2 giorni, 12 ore e 29 minuti, 4 giorni, 3 ore e 28 minuti, 8 giorni, 16 ore e 56 minuti, 13 giorni, 11 ore e 7 minuti. Ariel ed Umbriel sono fra gli oggetti celesti più difficili a vedersi. Essi furono scoperti col gigantesco riflettore che Lassell aveva al suo tempo stabilito sotto il meraviglioso cielo di Malta, il 24 ottobre 1851. Finora non si poterono neppure prendere di essi misure fotometriche; però dalla circostanza, che ad una tale distanza essi sono ancora visibili, noi dobbiamo conchiudere che qui noi abbiamo a che fare con corpi celesti non molto piccoli in realtà. Probabilmente essi non sono molto più piccoli di Titania e di Oberon, che

furono visti per la prima volta da Herschel l'11 gennaio 1787, e la cui grandezza fu stimata da Pickering di circa 900 km., nell'ipotesi di un'*albedo* eguale a quella del pianeta principale. Oberon è probabilmente un po' più piccolo di Titania (*a*).

9. — Nettuno.

La storia della scoperta di Nettuno è uno dei maggiori trionfi delle teorie astronomiche. Dai movimenti di Urano appena scoperto, che pareva non volessero assoggettarsi alle semplici leggi della gravitazione universale che regolano tutti i movimenti celesti, si conchiuse all'esistenza di un corpo fino allora sconosciuto, e la cui azione doveva produrre quelle perturbazioni. Rimandiamo ad altro luogo l'esposizione del modo con cui fu possibile il giungere a quel risultato. Dobbiamo solo qui menzionare, che Leverrier in Parigi, il quale aveva eseguito i difficili calcoli corrispondenti, in una lettera ad Encke, allora direttore dell'Osservatorio Reale di Berlino, diede il luogo del cielo nel quale si doveva cercare quel perturbatore della pace. Il nuovo pianeta non poteva che essere molto piccolo, ed uguagliare all'incirca una stella di nona grandezza, delle quali sono in cielo centinaia di migliaia. Ma a tutta prima il pianeta non si poteva affatto distinguere da quelle, perchè esso ha un movimento proprio molto tenue. In causa di questa difficoltà le grandi carte accademiche stellari di Berlino, che portano disegnate anche stelle di questa grandezza, e la cui parte corrispondente era già pronta, furono di un grande valore, giacchè col loro aiuto si poteva facilmente a mezzo di confronti riconoscere molto facilmente un corpo estraneo. Questa fu la ragione per la quale l'astronomo parigino si rivolse direttamente a Berlino, e precisamente, come ben presto apparve con ottimo successo, giacchè nella sera stessa del giorno in cui fu ricevuta la lettera memorabile che pregava della ricerca, il 23 settembre 1846, l'assistente Galle, poi direttore dell'Osservatorio di Breslavia, incaricato della ricerca, vide una stella che diede ragione a sospetti, nei dintorni del luogo indicato, e che non era segnata sulla carta. Di poi si riconobbe che essa era un astro mobile, e precisamente quello cercato, la cui posizione in cielo era stata scoperta allo scrittoio a mezzo di un diluvio di cifre, con un'esattezza poco inferiore ad un grado.

Come era già accaduto per Urano, così anche per Nettuno si verificò che Lalande l'aveva osservata come stella fissa nel 1795.

Durante la sua rivoluzione il suo diametro apparente di circa $2\,^1/_2$ secondi d'arco, non cambia notevolmente; teoricamente è necessaria una differenza di 0,2" fra la congiunzione e l'opposizione. La rivoluzione sinodica è di due giorni più lunga di un anno. La distanza di Nettuno è di 30 raggi dell'orbita terrestre,

(*a*) I numeri dati dall'*Annuaire du Bureau des Longitudes* per le distanze dei satelliti dal centro di Urano sono rispettivamente 7,04; 9,91; 16,11; 21,54.

(Nota di O. Z. B.).

ossia di 4467 milioni di chilometri, donde si deduce per il diametro reale in cifre rotonde 50.000 km. Esso è quindi alquanto più piccolo di Urano; tuttavia bisogna notare, che le piccole differenze trascurate nelle diverse misure della grandezza apparente del disco del pianeta, sono sempre abbastanza grandi per rendere uguali le dimensioni di Nettuno e di Urano, o per fare di quest'ultimo il minimo fra i pianeti esterni. A questo estremo limite dell'impero del Sole, ci mancano i mezzi per una più esatta e diretta conoscenza dei rapporti di grandezza. Ma ad ogni modo nella lunghezza del suo diametro Nettuno vale quattro volte la Terra.

Quello che rimarrebbe a dire sulla costituzione fisica di Nettuno, si riduce quasi ad una ripetizione di quanto esponemmo intorno ad Urano. L'*albedo* è ad un dipresso la medesima, e lo spettro, per quanto lo si può riconoscere, coincide pure con quello di Urano. Questo fatto è notevole, perchè prova che tutti i pianeti esterni hanno di comune un carattere, che non appartiene alla Terra ed agli altri pianeti interni, carattere che è espresso dalla banda spettrale presso 618 $\mu\mu$, e che inoltre i due membri più esterni del sistema solare hanno nelle loro atmosfere anche altre parti costitutive che mancano agli altri. Sembra però che il vapore d'acqua sia contenuto in tutte le atmosfere planetarie. Noi abbiamo qui delle manifestazioni che gettano una luce interessante sulla storia dell'evoluzione degli astri. Secondo tutte le probabilità, come noi vedremo più tardi, i pianeti più esterni sono anche i più antichi, quelli prodotti prima. Dalle osservazioni spettroscopiche sembra risultare, che tutti i pianeti hanno qualche cosa di comune, ma che per contro nella loro graduale posizione rispetto al Sole, furono escluse nella loro formazione gradatamente certe sostanze o proprietà, o che queste non furono distribuite nella composizione delle atmosfere. A Giove ed a Saturno mancano manifestamente certe cose, che Urano, e probabilmente anche Nettuno, possiedono; alla Terra poi ed ai pianeti affini manca la proprietà che produce la banda presso 618 $\mu\mu$.

Naturalmente sopra Nettuno si vedono ancora meno particolarità che sopra Urano. Sembra agli osservatori quasi che i suoi lembi non siano nettamente definiti. Si è perciò congetturato, che a quella distanza dal benefico Sole, quel pianeta abbandonato non si sia ancora condensato in un corpo solido, ma sia rimasto una sfera nebulare gasosa, come probabilmente erano tutti i pianeti nel loro stato originale. Ciò è ben possibile, ma l'indefinitezza dei lembi si può anche, come per Giove, spiegare con un'alta atmosfera, che all'orlo del pianeta assorbe tanta luce che il pianeta ci sembra perdersi gradatamente come nebbia nello spazio.

Per quanto consta, solo un satellite si muove attorno a quel pianeta dal lento procedere. Questa luna, che è assai grossa, non è così difficile a vedersi, come quella di Urano. Roberts riuscì a fissare in 15 minuti un'immagine fotografica di Nettuno colla sua luna. Ad ogni modo quella stellina di 14ª grandezza non è mai un oggetto di facile osservazione, benché da questa debole luce, assieme alla grande distanza la quale supera di 12.000 volte quella della nostra luna dalla Terra, si deduca che il satellite di Nettuno, raggiunge all'incirca la grossezza della Luna della Terra. Essa dista di 14 o 15 raggi del suo pianeta da questo, intorno al quale circola in 5 giorni, 21 ore e 2 minuti. Quella distanza è alquanto maggiore di quella che intercede fra la Terra e la Luna. Anche in questo satellite si verifica quell'anomalia di posizione, avvertita già per quelli di Urano; esso però qui attesta di una perturbazione ancora maggiore.

L'analogia cogli altri pianeti rende probabile che Nettuno abbia ancora altri satelliti, che noi non possiamo scorgere, stante la loro grande lontananza da noi. Il 24 settembre 1892, col grande refrattore del Monte Hamilton, Schaeberle credette scorgere in circostanze atmosferiche eccezionalmente favorevoli un oggetto che dubitò ma non potè dimostrare fosse un secondo satellite di Nettuno.

Prima di abbandonare Nettuno e di oltrepassare i confini del sistema planetario, e di rivolgerci a quei viandanti girovaghi, che sono chiamati comete, che quasi rappresentano il collegamento tra il sistema solare e le altre simili accolte, tratteggiamo rapidamente i caratteri che dividono in gruppi i corpi celesti fin qui considerati.

La nostra Luna sembra occupare una posizione speciale in causa della sua mancanza d'aria e d'acqua, poichè i satelliti degli altri pianeti, per quanto furono studiati in questo riguardo, e sono fra loro paragonabili all'ingrosso, hanno mostrato traccie di atmosfere cariche di vapore acqueo. In ogni caso, per Mercurio, noi possiamo congetturare la mancanza di un oceano aereo. In tutti gli altri pianeti non è discutibile la presenza di aria, quantunque non sempre di composizione eguale alla nostra, o di vapore d'acqua. La nostra Luna ha tuttavia con molti, e forse con tutti i satelliti degli altri sistemi, comuni l'eguaglianza della durata della sua rotazione con quella della sua rivoluzione, per il che essi rivolgono costantemente al corpo centrale la medesima faccia. La stessa proprietà ha sicuramente Mercurio rispetto al Sole, molto probabilmente anche Venere. Partendo dalla Terra tutti i pianeti posseggono dei satelliti, ed in numero crescente fino a Saturno; la diminuzione che si nota di poi, probabilmente non è reale, ma solo apparente, in causa dell'incapacità in cui ci troviamo di vedere a così grandi distanze corpi delle dimensioni dei piccoli satelliti dei rimanenti pianeti. La Luna e la Terra hanno comuni molti caratteri topografici della loro superficie solida, sebbene stante la vicinanza che ci consente uno studio assai profondo delle formazioni montagnose della Luna, si debbano notare anche molti tratti diversi di questa creazione estranea. La Terra e Marte hanno al pari di una lunghezza del giorno quasi eguale, comuni una quantità di fenomeni meteorologici, che principalmente si manifestano in una ben netta vicenda delle stagioni. Alcuni tratti fondamentali della circolazione aerea, che si rivelano a mezzo della superficie di natura striata di Giove e Saturno, ed altre particolarità delle formazioni nuvolose, segnatamente sul primo pianeta, si spiegano sulla Terra con procedimenti simili. La macchia rossa sopra Giove sembra accennare a manifestazioni vulcaniche, che si verificano anche presso di noi, benchè in misura minima. I quattro pianeti esterni mostrano un'eguale grossezza, un'eguale ricchezza di satelliti (colla limitazione spiegata per Saturno), e probabilmente per tutti un'eguale rotazione rapida, ed il forte schiacciamento che ne consegue, e le stesse dense atmosfere diverse dalle nostre. Ma in questo gruppo, Giove e Saturno da una parte, e dall'altra Urano e Nettuno formano dei sotto-gruppi, che si distinguono essenzialmente per la diversità degli involucri gasosi e per le orbite dei loro satelliti; queste ultime sono anormali nei due ultimi pianeti esterni. Già anche in Giapeto, l'ultima luna di Saturno, si mostra una deviazione da questa regola, d'altronde generale. In causa del suo anello, Saturno prende, ma solo apparentemente, una posizione speciale nel sistema planetario, giacchè in realtà il Sole stesso possiede un simile anello

nella numerosa schiera dei piccoli pianeti, che in complesso ha l'apparenza dell'anello trasparente. In seguito, addentrandoci nell'investigazione della volta celeste, riconosceremo che la forma anulare non è un fenomeno raro nell'universo.

Se noi ora a queste proprietà fisiche aggiungiamo quella che impareremo più davvicino studiando i movimenti celesti (V. Cap. 10 della seconda Sezione) e che consiste nell'egual verso della rivoluzione dei pianeti attorno al Sole, e della rotazione attorno al loro asse, allora noi non possiamo dubitare neppur più per un istante, che questo bel tutto debba avere una comune origine, un comune sviluppo ed uno scopo comune.

10. — Le Comete.

Per lo più inatteso appare talvolta sul cielo notturno un astro dalla lunga coda, affatto diverso da tutti quelli che siamo soliti vedere sul firmamento tranquillo. Esso cambia rapidamente la sua forma e la sua grandezza, e ad uno sguardo superficiale il suo cammino fra le stelle fisse sembra essere senza legge e senza regola. Esso suole scomparire più lentamente di quanto sia giunto, misterioso come quando apparve. Tutto l'aspetto del fenomeno è così insolito, così lontano dalla sacra quiete, dall'uniformità, dalla regolarità delle altre manifestazioni celesti, che si capisce come le comete, o astri caudati o chiomati, non venissero fino a due secoli e mezzo fa ascritte ai corpi celesti, ma si credessero di origine sublunare. Sembrò impossibile che astri così enormi, che spesso attraverso tutto il cielo lanciano un ponte luminoso, potessero andare errando fra gli altri corpi celesti, compresivi il Sole e la Luna, rispetto ad essi così piccoli, senza portare il disordine nella loro schiera. Per contro se le comete erano vapori accesi, che dalle caverne terrestri s'innalzavano nell'atmosfera, come lo credette Aristotele, esse potevano secondo ogni apparenza assumere anche un tale sviluppo, senza divenire pericolose per gli astri, mentre in tale supposizione gli uomini non avevano che a temerne assai più.

La superstizione delle comete, e particolarmente l'opinione che l'apparire di questi astri dovesse essere collegato col diffondersi di malattie epidemiche, ebbe così per lungo tempo una tal quale giustificazione, finchè non si riuscì a dimostrare ineccepibilmente la loro natura cosmica. Noi non dobbiamo però, senz'altro, ridere inconsideratamente delle altre credenze a mali di mille maniere, che venivano una volta attribuiti a quegli astri colla coda. Solo nel nostro secolo illuminato si dovrebbe parlare di una vera superstizione delle comete, perchè solo oggi siamo in caso di avere convincimenti sicuri intorno a questi corpi celesti, mentre essi erano rimasti fin verso la metà del diciasettesimo secolo veri enigmi in tutti i sensi, così che da essi era lecito di aspettarsi tutto. Si può quindi comprendere che in tutta l'umanità si destasse un non piccolo eccitamento, quando si mostrava in cielo un segno dall'aspetto così terribile, e che in seguito di questa esaltazione non sia talora accaduta disgrazia a qualche popolo; forse scoppiò una guerra, che in disposizioni più pacifiche del popolo o del principe avrebbe potuto

essere evitata. In questo senso quindi le comete portavano effettivamente delle calamità, e noi comprendiamo le seguenti considerazioni di Pietro Megerlin da Basilea, che egli stampò nel suo scritto una volta molto diffuso: " Congetture astronomiche sul significato della cometa apparsa di recente „, 1665.

" Ora è tempo, che io brevemente pubblichi le mie speciali *speculationes* ed i miei pensieri sul significato di questa cometa ancora presente. Ma ciò dovrebbe emanare dalla *harmonia naturae* e dalla concordanza delle creature celesti e terrestri; poi da molti *Scalis hero* si osserva, che quando appare in cielo alcunchè di nuovo, come comete od altri simili *phaenomena*, anche la *natura sublunaris* viene sconvolta e perturbata da avvenimenti straordinari nel suo corso ordinario. Ma tali avvenimenti non si debbono cercare in cielo quanto sulla Terra stessa; poichè come in un banchetto, una forte bevuta può produrre in uno la podagra, in un altro l'espulsione, in un terzo l'irritazione, in un quarto male d'occhi, di denti o della pelle, non perchè il vino sia di per se stesso così dannoso, come quello che al sano non arreca alcun inconveniente, ma anzi lo rinfresca e lo rallegra: ma perchè la di quegli debole natura non può tollerare un eccitante così potente. Così anche la natura elementare può per il medesimo di una cometa, venire del pari mossa fortemente ovvero (come si suol dire) eccitata, che essa dopo ciò erompe in tali inusitati avvenimenti, in un luogo od in un altro secondo che vi esisteva la disposizione o l'inclinazione. Ma ora volendo giudicare di una cometa, se essa indichi caldo o freddo straordinario, siccità o inondazione, vento o terremoto, peste od altre epidemie, guerra, rivolta, o mutamenti di governo o di religione, ed ancora per quale paese essa annunzi tutto ciò, occorre ad un buon pronosticante di essere un acuto fisico e naturalista, ed anche un politico dalle larghe vedute, ed un saggio mondiale, che sappia conoscere lo stato presente delle varie contrade „.

Riproduciamo anche un'applicazione che il dotto " Physicus et Politicus „ fa delle sue proposizioni fondamentali alle predizioni che si ricavano dalle apparizioni delle comete.

" Quando nell'anno 1652, in un onesta compagnia di gente di campagna si manifestarono grandi ostilità contro le loro autorità, in causa di minime divergenze, apparve una cometa..... allora io ne pronosticai la guerra dei contadini, scoppiata nell'anno seguente, come possono attestare molte persone per bene: ma se la cometa non fosse venuta, questa rivolta non si sarebbe spinta fino a venire alle mani, ma si sarebbe risolta in modo più tranquillo. Si deve in ciò notare, che stante il persistente cattivo tempo, questa cometa non fu mai visibile in Zurigo..... quindi colà i contadini rimasero tranquilli nell'anno 1653 „.

Si vede qui chiaramente, come il dotto indovino faccia solamente cenno dell'influenza, che la sola vista produceva in certo qual modo per autosuggestione. Questo è ad ogni modo un grande progresso rispetto alle divagazioni puramente mitiche, che la maggior parte dei suoi predecessori diffondevano ed alimentavano intorno all'influsso delle comete. Che cosa si deve ad esempio dire di ciò, che alla cometa del 942 fu attribuita una morìa improvvisa e misteriosa negli animali e nelle mandre o che si volle che quella del 1680 fosse cagione che una gallina *incontaminata*, deponesse in Roma un uovo sul quale era raffigurata la cometa, del che si occupò largamente allora il *Journal des Savants*. Se noi possiamo scusare tali aberrazioni pur sempre in certa guisa coi tempi nei quali esse avvennero, e nei quali non potevasi dare una spiegazione soddisfacente della natura di questi corpi celesti che si presentavano minacciosi, tuttavia è vergognoso che ancora alla metà del nostro secolo, siano stati stampati degli scritti nei quali le comete venivano presentate

come suscitatrici di malattie o produttrici di estati o di inverni particolarmente calde o freddi. Per fermo in cospetto della tenacità colla quale la superstizione delle comete si è conservata attraverso ai secoli, noi non possiamo essere sicuri che l'apparire di una grande cometa non risvegli ancora una volta simili opinioni e l'ansia di molta gente. Quando alcuni anni fa apparve la piccola cometa Holmes, e per alcune speciali circostanze il primo calcolo superficiale indicò che essa si muoveva in linea retta su di noi, può darsi che alcune persone anche non ignoranti abbiano inquiete sollevato la questione, se la *vecchia teoria* degli astronomi, tradotta in pratica nell'urto preveduto, si sarebbe ancora sostenuta.

D'altra parte si sa che le comete non furono sempre considerate come foriere di disgrazia; esse ci impartirono anche un vino particolarmente buono, come nel 1811 e nel 1882. La grande cometa del 1811 aiutò anche gli scavatori d'oro nel Messico, nel loro convincimento di scoprire una famosa miniera d'oro, e quella del 1819 portò alla luce una ruota d'argento nativo.

Opinioni tranquillanti e chiare intorno alle comete si poterono solo acquistare dopo che l'arte di osservare era così sufficientemente progredita, da poter fissare sulla volta celeste il corso apparente di questi astri, e dopochè la teoria si era corrispondentemente perfezionata, per poter dedurre il vero da quelle apparenze. Poi si dovette anche radunare un gran numero di fatti fisici ed astronomici, che primamente non sembravano avere assolutamente nulla a che fare colle comete, per poter sciogliere l'indovinello degli astri dalla coda. Tuttavia ben presto si trovò una mente che vedeva giusto, e che contro all'opinione generale, si pronunziò decisamente per la natura cosmica delle comete. Già Seneca aveva osservato che le comete partecipano al movimento diurno delle stelle fisse, e che perciò non possono essere di origine terrestre, ed in guisa notevolmente profetica il poeta romano Manilio, che viveva ancora prima di Seneca, scriveva:

> " Ovvero la natura creò quelle fiaccole, al pari di tutte le stelle risplendenti nel cielo di fiamme perenni; ma l'astro Titanio trae a sè col veemente calore le fiammeggianti comete e le involge col suo fuoco, e nuovamente le rimanda, come Mercurio e Venere ". (*Astronomicon*. Versione del prof. A. Covino).

Queste opinioni singolari poterono solo trovare un più valido appoggio quando dopo le lunghe tenebre intellettuali che seguirono la distruzione dell'impero romano, si cominciò ad interessarsi di nuovo vivamente per ritrovare la regolarità dei movimenti celesti. Dopochè nel 1492 Regiomontano aveva intrapreso le prime determinazioni della posizione di una cometa in cielo, e segnatamente quando a mezzo della scoperta del cannocchiale Evelio in Danzica potè affinare tali osservazioni, fu possibile di passare al difficile problema matematico di determinare il cammino di una cometa nello spazio ed intorno al Sole, e quindi anche l'indicare la sua posizione rispetto alla Terra, col che solamente si poteva decidere la questione se essa fosse di natura sublunare o di natura cosmica. Il già menzionato dotto consigliere di Danzica aveva già espresso la determinata convinzione che le comete descrivono orbite fisse intorno al Sole; ma solo Newton potè pel primo dare i metodi coi quali si possono dalle osservazioni fatte sulla Terra che gira, calcolare le orbite intorno al Sole; col che il suo compatriota

Halley potè nel 1705 indagare praticamente le prime orbite di comete. Ritorneremo su ciò. Sebbene solo la seconda Sezione del nostro lavoro debba occuparsi dei movimenti celesti, tuttavia nel caso precedente è impossibile di non tener conto di questi movimenti delle comete, giacchè essi sono di fondamentale importanza per le nostre considerazioni seguenti sulla natura fisica di questi straordinari fra tutti gli oggetti celesti. Cercheremo di dare nella seconda Sezione la dimostrazione di ciò che i movimenti e le posizioni qui riferite rispetto al Sole ed alla Terra, si possono determinare a mezzo di metodi che non permettono alcun errore, astraendo dalle incertezze del calcolo.

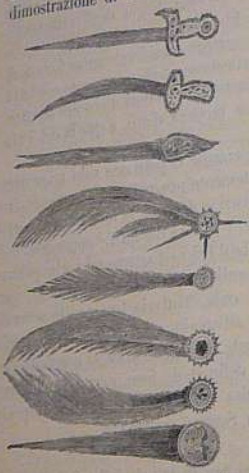


Fig. 108. — Disegni di Comete tolti dalla "Cometografia", di Evelio.

Consideriamo da prima alquanto più dappresso l'apparenza esterna delle comete, quale si mostra all'occhio nudo, e subito avvertiremo come primo distintivo caratteristico la loro coda, dalla quale quegli astri presero anche il nome. Poichè le grandi comete sono apparizioni rare (la statistica prova che in media ogni quattro o cinque anni un simile astro diviene visibile all'occhio nudo), così in mancanza di astri di tal natura visibili ad ogni momento, noi dobbiamo per il loro studio limitarci ad immagini. Di queste se ne ha un numero grande, ma pur troppo dobbiamo rinunziare alla massima parte dei disegni dei secoli precedenti, giacchè essi manifestamente sono delineati dietro la paura soggettiva delle comete così profondamente radicata, come attesta l'annessa riproduzione di un rame che è tolto dall'opera di Evelio. Alcune di queste figure col loro aspetto in forma di spada mostrano chiaramente l'influenza della paura d'allora per quei minacciosi segni celesti; altre per contro sono disegnate in modo più imbarazzante, e lasciano divedere traccie di fenomeni realmente osservati più tardi, come ad esempio le diramazioni in varie direzioni (vedasi nella figura 108 la quarta cometa dall'alto), nuclei multipli (la penultima cometa), ecc.

Il solo disegnatore imparziale, la macchina fotografica, potè fin'ora fissare soltanto poche grandi comete, ma dal 1882 in poi non ne è più apparsa alcuna che si potesse pigliare da osservatori ben provvisti del nostro emisfero. Ma si fu appena un anno prima, che si riuscì a fissare sulla lastra sensibile la completa immagine di una cometa, dopochè il 28 settembre 1858 la famosa cometa Donati aveva impressa sopra una lastra umida al collodio la prima traccia avvertibile. La prima prova fotografica testè menzionata e realmente riuscita bene fu ottenuta il 30 giugno 1881 dall'astrofisico francese Janssen e riprodotta da un disegno nella nostra figura 109. Non fu possibile, senza il sussidio della mano dell'uomo, una riproduzione diretta della debole impressione lasciata dalla luce sulla lastra. Il rilievo fotografico fu ottenuto a mezzo di uno specchio straordinariamente lucente

PAESAGGIO CON UNA GRANDE COMETA DI FORMA NORMALE.

Disegno originale di *H. Harder*.

Halley potè nel 1705 indagare praticamente le prime orbite di comete. Ritorneremo su ciò. Sebbene solo la seconda Sezione del nostro lavoro debba occuparsi dei movimenti celesti, tuttavia nel caso precedente è impossibile di non tener conto di questi movimenti delle comete, giacchè essi sono di fondamentale importanza per le nostre considerazioni seguenti sulla natura fisica di questi straordinari fra tutti gli oggetti celesti. Cercheremo di dare nella seconda Sezione la dimostrazione di ciò che i movimenti e le posizioni qui riferite rispetto al Sole ed alla Terra, si possono determinare a mezzo di metodi che non permettono alcun errore, astraendo dalle incertezze del calcolo.

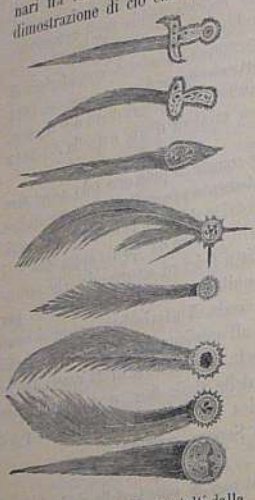


Fig. 108. — Disegni di Comete tolti dalla " Cometografia " di Evelio.

Consideriamo da prima alquanto più dappresso l'apparenza esterna delle comete, quale si mostra all'occhio nudo, e subito avvertiremo come primo distintivo caratteristico la loro coda, dalla quale quegli astri presero anche il nome. Poichè le grandi comete sono apparizioni rare (la statistica prova che in media ogni quattro o cinque anni un simile astro diviene visibile all'occhio nudo), così in mancanza di astri di tal natura visibili ad ogni momento, noi dobbiamo per il loro studio limitarci ad immagini. Di queste se ne ha un numero grande, ma pur troppo dobbiamo rinunziare alla massima parte dei disegni dei secoli precedenti, giacchè essi manifestamente sono delineati dietro la paura soggettiva delle comete così profondamente radicata, come attesta l'annessa riproduzione di un rame che è tolto dall'opera di Evelio. Alcune di queste figure col loro aspetto in forma di spada mostrano chiaramente l'influenza della paura d'allora per quei minacciosi segni celesti, altre per contro sono disegnate in modo più imbarazzante, e lasciano divedere traccie di fenomeni realmente osservati più tardi, come ad esempio le diramazioni in varie direzioni (vedasi nella figura 108 la quarta cometa dall'alto), nuclei multipli (la penultima cometa), ecc.

Il solo disegnatore imparziale, la macchina fotografica, potè fin'ora fissare solo tanto poche grandi comete, ma dal 1882 in poi non ne è più apparsa alcuna che potesse pigliare da osservatori ben provvisti del nostro emisfero. Ma si fu appena un anno prima, che si riuscì a fissare sulla lastra sensibile la completa immagine di una cometa, dopochè il 28 settembre 1858 la famosa cometa Donati aveva impressa sopra una lastra umida al collodio la prima traccia avvertibile. La prima prova fotografica testè menzionata e realmente riuscita bene fu ottenuta il 30 giugno 1881 dall'astrofisico francese Janssen e riprodotta da un disegno nella nostra figura 109. Non fu possibile, senza il sussidio della mano dell'uomo, una riproduzione diretta della debole impressione lasciata dalla luce sulla lastra. Il rilievo fotografico fu ottenuto a mezzo di uno specchio straordinariamente lucen

PAESAGGIO CON UNA GRANDE COMETA DI FORMA NORMALE

Disegno originale di *H. Harder*.

costrutto per tali scopi, di 0,5 m. di apertura e di soli 1,6 m. di distanza focale. La lastra dovette rimanere esposta alla luce della cometa durante una mezz'ora. Ma frattanto i progressi dell'arte fotografica hanno fatto pubbliche con squisite rappresentazioni delle comete molto più deboli, apparse d'allora in poi e delle quali dovremo discorrere più a lungo.

La fotografia di Janssen del 1881 ci mostra anche contemporaneamente il tipo normale di una grande cometa. Anche la tavola colorata qui annessa riproduce l'impressione che una tale apparizione solleva in mezzo alla nostra natura terrestre. La parte più nettamente delimitata, incurvata parabolicamente, che nelle condizioni normali di direzione è rivolta verso quella parte dell'orizzonte sotto la quale sta il Sole, si chiama la testa della cometa, dietro la quale pende la coda, la cui luminosità si perde gradatamente nell'oscurità del cielo. D'ordinario la coda è alquanto incurvata verso quella parte dalla quale proviene l'astro, a somiglianza del vapore che esce da una locomotiva in movimento. Quando la lucidità della coda mostra qua e colà delle variazioni, essa è più chiara nella parte che precede la corsa e più nettamente limitata che la seguente, e nel mezzo sta un canale più oscuro. Per quanto però anche la coda possa lucere, tuttavia le stelle davanti alle quali essa scorre ci si mostrano attraverso ad essa con splendore non affievolito, uno dei fatti più curiosi che era già stato notato in questi esseri misteriosi, e che li rendeva per ciò ancora più vaporosi e fantastici.

Queste sono tutte le cose degne di nota, che le grandi comete hanno comuni per l'occhio nudo: in particolare poi esse mostrano molteplici variazioni di forma, estensione, colore, tante stranezze e specialità, che per essere esauriente, bisognerebbe dedicar loro un intiero volume.

La lunghezza della coda può variare fra grandezze appena avvertibili e sviluppi di cento e più gradi, così che, quando la testa sta all'orizzonte, il loro strascico luminoso, passando sopra il nostro capo, si stende giù giù verso il tramonto. Ma il graduale scomparire della luce della coda nel fondo del cielo, oppone d'altra parte delle gravi difficoltà alla misura della lunghezza della coda, e la rende malsicura. Lo stato momentaneo dell'atmosfera, la bontà dell'occhio dell'osservatore, l'influenza della presenza della luce lunare, cagionano grandi fluttuazioni nei dati di lunghezza, che in realtà non esistono, e producono spesso l'impressione di grandi e repentine variazioni, che non hanno nulla a che vedere cogli avvenimenti interni alla cometa. Così ad esempio la coda della grande cometa del 1861 ebbe una lunghezza supposta, all'epoca del suo massimo sviluppo, di circa 40 gradi, mentre Schmidt in Atene per grazia della squisita purezza del cielo greco e di una acutezza d'occhio affatto eccezionale, potè seguire la luce della coda, per una lunghezza tripla, cioè per circa 120 gradi, all'epoca medesima. Alle più splendide e grandi apparizioni di tutti i tempi appartiene la cometa del 1680, che diede origine alle menzionate profezie. La sua coda potè facilmente seguirsi fino ad 80 gradi. Ma la più lucida fra tutte le stelle a chioma finora apparse è senza dubbio quella del 1882, colla quale prese fine in grandioso modo l'era delle grandi comete, che il nostro secolo aveva fino allora continuato. Anche dell'apparizione del 1882 solo pochi avranno veduto qualche cosa, poichè essa avveniva per noi nelle prime ore del mattino verso la fine di settembre; allora la cometa era ancora distintamente visibile nel crepuscolo chiaro, poco prima del

levar del Sole, come nessuno dei grandi pianeti si sarebbe mostrato in simile posizione. Racconteremo a suo luogo più distesamente l'istoria di questa cometa straordinaria.

Astraendo dalle menzionate variazioni apparenti, le code delle comete sono nelle loro vicende soggette a mutamenti reali, ed in misura talvolta veramente grande. La regola è che le comete dallo spazio cosmico tendono al Sole in grandezza non appariscente, ed in molti casi non sono visibili ad occhio nudo prima di aver raggiunto la loro massima prossimità al Sole. Durante questa loro massima vicinanza all'astro centrale del nostro sistema, rimangono invisibili, perchè esse stanno nel radioso cielo del giorno. Ma allorquando esse, a seconda della natura del loro corso, emergono di nuovo nel crepuscolo della sera o del mattino, esse si mostrano adorne di una lunga coda, che per lo più a quell'epoca ha raggiunto la sua massima lunghezza, e cresce solo apparentemente a cagione del suo addentrarsi sempre più nell'oscuro cielo notturno. Poi la coda comincia a diminuire ma però molto più lentamente di quanto era cresciuta. In piccola parte questa diminuzione è un effetto di prospettiva, poichè la cometa si allontana da noi spingendosi di nuovo lungo il suo cammino nello spazio celeste; ma per il resto la diminuzione della coda, come il calcolo dimostra incontestabilmente, è reale. Per ultimo la cometa si mostra priva di coda, generalmente però solo quando essa si è sottratta all'occhio nudo. Ma siccome nessuna delle regole che si possono stabilire per le comete è senza eccezione, per il che il loro studio ne diviene tanto difficile, così si ebbero anche comete, le quali andarono svolgendo la coda e toccando la massima lucidità molto dopo aver raggiunto la loro più grande prossimità al Sole, e mentre si allontanavano da noi e dal Sole.

Fig. 109. — Prima fotografia di una cometa, ottenuta da Janssen in Meudon il 30 giugno 1881.

Per dare un'idea della grandezza apparentemente variabile della coda di una cometa, rappresentiamo nella figura 110 l'aspetto della grande cometa del 1881, quale fu vista ad occhio nudo in parte in Lovanio ed in parte in Ginevra tra il 26 giugno ed il 18 luglio. Nella Germania settentrionale non divenne notevole, sebbene rimanesse tutta la notte sopra l'orizzonte, poichè essa mancò all'epoca delle chiare notti d'estate. La posizione della coda è data solo punteggiata ove si trovò per epoche precedenti coperta. La vera distanza dell'astro in millioni di chilometri è scritta accanto alla data. Il confronto di questi numeri colla grandezza della coda, mostra senz'altro che le sue variazioni di grandezza non si possono spiegare soltanto colla sua diversa distanza. La rapida diminuzione fra il 10 ed il 12 luglio è più che altro una conseguenza della presenza della Luna, che a quest'epoca splendeva col suo disco pieno, mentre alcuni giorni più tardi in assenza della Luna si potevano di nuovo acquistare alcune ore della sera per l'osservazione della cometa. Noi vediamo perciò di nuovo la coda crescere presto

notevolmente, per poi ricominciare ad impicciolire continuamente. Il 3 agosto, in Ginevra, la cometa fu visibile per l'ultima volta ad occhio nudo, mentre col refrattore di 10 pollici (cm. 25) lo fu fino al 19 dicembre, ed in Cambridge nell'America del Nord, fu osservata fino al 14 febbraio 1882 col refrattore di 24 pollici (cm. 61). Ma anche nei cannocchiali, verso la metà d'agosto aveva di già perduto completamente la sua coda.

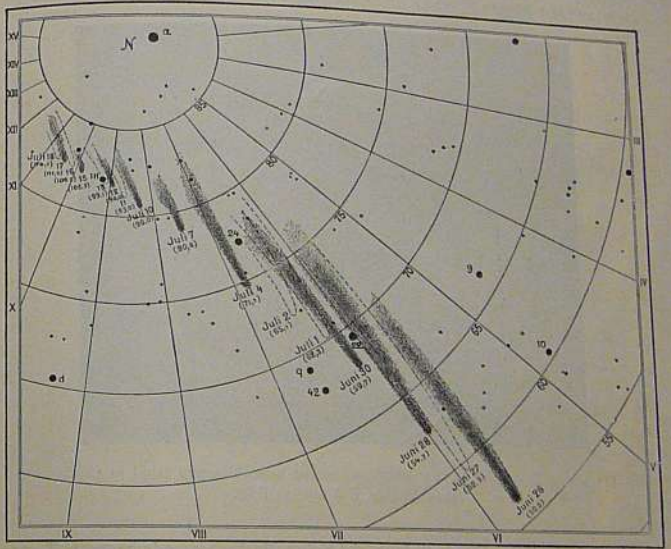


Fig. 110. — Corso apparente e lunghezze della coda della grande Cometa del 1881, secondo osservazioni di Terby in Lovanio e di M. W. Meyer in Ginevra.

Ora, rammentandoci delle considerazioni svolte nel capitolo sul cannocchiale, possiamo avvertire che nella determinazione della lunghezza della coda delle grandi comete quest'istrumento non può porgerci alcun aiuto, giacchè esso distende troppo la debole luce evanescente dell'estremità della coda, perchè questa possa ancora produrre un'impressione sul nostro occhio, tutt'al più può servire un binoccolo da teatro di debole ingrandimento; d'ordinario però un occhio nudo ma buono vede la coda quanto più lunga è possibile. Altrimenti avviene per contro per la testa della cometa che ha luminosità condensata, che sopporta ingrandimenti più o meno forti, e che quindi nel telescopio mostra notevolmente più dettagli, che non possa vederne l'occhio nudo, e che può essere a mezzo di questo ingrandimento ancora seguita per lungo tempo, dopo che a causa della sua piccolezza sarebbe altrimenti invisibile.

A mezzo della lunghezza apparente della coda e della sua reale distanza da noi, si può calcolare la sua vera lunghezza, e con ciò si giunge a numeri veramente enormi, che ci provano che questi esseri celesti sono di gran lunga i più grandi la cui misura ci sia ancora possibile. Così la grande cometa di Donati del 1858, aveva il 10 ottobre di quell'anno una lunghezza di 80 millioni di chilometri; quindi se si fosse posta la sua testa nel centro del Sole, l'estremità della coda avrebbe toccato l'orbita di Mercurio. Ma la gigantesca cometa del 1843

Fig. 111. — La Cometa di Donati, veduta ad occhio nudo. Secondo Bond in Cambridge, Massachusetts, il 5 ottobre 1858.

avrebbe potuto attraversare la distanza dal Sole a Marte, passando sopra la Terra; la sua coda misurava 250 millioni di chilometri.

Tutte le comete però non posseggono l'arco elegante, che noi indicammo come tipo delle code delle comete. Alcune fra esse, e queste appartengono precisamente alle massime apparizioni, avevano code rettilinee, come la cometa del 1843, la cui figura è riprodotta nella qui annessa rappresentazione di paesaggio. Anche le comete apparse nel 1880 e 1882 possedevano code simili, le quali in questi astri che s'accostarono particolarmente al Sole si svilupparono affatto repentinamente.

Non poche comete erano fornite di più di una coda. Alcune mostrarono due code, delle quali, come nella cometa di Donati del 1858 già parecchie volte menzionata, l'una era affatto rettilinea, l'altra possedeva la caratteristica curvatura verso l'addietro. Si diedero anche comete nelle quali una coda, come mostra la figura 111, era come al solito situata dalla parte opposta al Sole, l'altra invece era diretta su di esso; però pare che allora si trattasse solamente di efflussi, dei quali dovremo discorrere. È però indubitato che molte comete abbiano posseduto parecchie code, delle quali alcune facevano angoli considerevoli colla direzione

La grande Cometa del 1843.

(Da un disegno originale di W. Kranz).

opposta al Sole. Così la famosa cometa dell'anno 1744, secondo i disegni degli astronomi contemporanei, mostrò cinque code, e presentò così lo strano aspetto riprodotto nella figura 112.

Fig. 112. — Cometa a cinque code del 1744.

I nostri concetti intorno alle comete si completeranno in modo essenziale a mezzo dello studio delle apparizioni telescopiche, che sono molto più frequenti di quelle visibili ad occhio nudo, e che ogni anno apporta in discreto numero. Dacchè la caccia alle comete è divenuta, segnatamente in America, tanto zelante quanto quella dei piccoli pianeti, i cataloghi delle comete ne danno dalle 5 alle 6 in media ogni anno. Mentre negli annali di tutti i popoli e di tutti i tempi in tutto si trovano circa 500 comete che furono visibili ad occhio nudo, dalla scoperta del cannocchiale in poi, cioè da meno di tre secoli, si giunse, esclusivamente a suo mezzo, alla conoscenza di 300 comete, cosicchè in tutto gli uomini hanno assistito ad 800 apparizioni, comprendendo in esse i ritorni degli astri periodici.

Ma fino al 1893, di queste solo 411 furono sufficientemente bene osservate, per poterne determinare il vero corso, l'orbita nello spazio. Galle, direttore dell'Osservatorio di Breslavia, ha pubblicato un indice completo di queste orbite di comete. Come prima cometa calcolata esso contiene quella dell'anno 372 a. C. menzionata da Aristotele. Esso contiene in tutto 54 orbite fino all'epoca dell'invenzione del cannocchiale; il diciasettesimo secolo conta 19 orbite, il diciottesimo fino al 1799 di già 62, ed il nostro secolo fino al 1893 non meno di 276.

Fig. 113. — " Cercatore di comete " di Repsold, appartenente all'Osservatorio di Strasburgo.

La scoperta di comete richiede d'altronde, malgrado il numero considerevole di questi corpi, una pazienza assai grande. Denning, uno dei più abili e fortunati " cacciatori di comete " dei giorni nostri, racconta che egli ha cercato per ben 120 ore ciascuna delle cinque comete da lui scoperte. Questa ricerca si fa per lo più a mezzo di cannocchiali appositamente costruiti a quello scopo, e denominati " cercatori di comete „, che congiungono una grande forza di luce con un largo campo di visione, il che si ottiene spesso a spese del corretto disegno al lembo del campo di visione, o dell'intiera purezza di tinte dell'immagine. Inoltre il " cercatore di comete „ deve essere facilmente movibile e manca perciò di tutti i congegni accessori, che negli altri cannocchiali astronomici servono alla misura od a ritrovare un determinato punto del cielo. La figura 113 rappresenta la così detta sedia delle comete dell'Osservatorio di Strasburgo, che permette all'osservatore di scandagliare coll'istrumento tutto il firmamento, senza alzarsi dalla sedia. Denning nella ricerca delle comete, si serve di un telescopio a riflessione di 10 pollici (25 cm.) di apertura, e di distanza focale molto corta, col quale egli, coll'ingrandimento ordinariamente adoperato di 40 volte, può in una sola volta vedere circa un grado della volta celeste.

La ricerca si fa così: dapprima si scandaglia attentamente e sistematicamente il cielo, di notte quando non vi è Luna, finchè si scopre un oggetto sospetto, vale a dire dall'aspetto di cometa. Ciò accade relativamente assai spesso, poichè in cielo vi sono, come vedremo meglio più tardi, parecchie migliaia di così dette nebulose, che malgrado la rassomiglianza esterna, si distinguono dalle comete telescopiche, in quel modo medesimo che le stelle fisse dai piccoli pianeti. Esse mantengono la loro posizione, mentre le comete cambiano posto. Se non si ravvisa subito nell'oggetto scoperto una nebulosa, allora si segna la sua situazione sopra una carta celeste preparata all'uopo, e si determina con ciò ad un dipresso la sua posizione fra le stelle fisse; si guarda poscia se l'oggetto sia registrato nei cataloghi di nebulose, che è il caso che si verifica più di frequente. Se per

contro si constata realmente una nuova apparizione, allora bisogna attendere qualche tempo, spesso fino ad un'ora, per accertare un movimento. Se non ne avviene alcuno, si è scoperta una nuova nebulosa, il che d'ordinario non ha alcuna particolare importanza. Ma nell'altro caso si è realmente scoperta una cometa. Questa viene quindi guardata con un cannocchiale che è fornito dei congegni necessari alla più esatta determinazione della sua posizione in cielo; e per ultimo questa posizione vien telegrafata alla stazione centrale per i telegrammi astronomici in Kiel, espressa in linguaggio convenzionale di cifre conosciute da tutti gli astronomi del mondo; quella stazione centrale comunica subito questo telegramma a tutti gli interessati del mondo. Questa organizzazione per la comunicazione dei telegrammi astronomici è in realtà di alto valore; quando oggidì vien fatta una nuova scoperta in un osservatorio ben organizzato, tutti gli altri osservatori, che perciò incontrano una tenue spesa annua, possono nello stesso giorno sapere quanto occorre intorno alla scoperta, e quindi ad esempio ritrovare senza fatica una nuova cometa segnalata, quando a ciò valga la forza ottica del cannocchiale che si ha a disposizione. Se non si fosse disposta una tale comunicazione, molte delle più importanti apparizioni di comete rimarrebbero senza osservazioni sufficienti, e subito dopo la scoperta andrebbero perdute. Poichè nel luogo della scoperta le osservazioni ne possono essere per lungo tempo impedite dal cattivo tempo, o mentre la partecipazione giunge ad altri luoghi a mezzo di lettera, la cometa il cui movimento avvenire non si è ancora potuto determinare per mezzo del calcolo, se ne è sfuggita.

Di recente si è non di rado verificato poco dopo la comunicazione telegrafica, che una cometa scoperta in Europa, era stata qualche ora prima veduta, in una qualche altra parte del mondo, d'ordinario da uno dei numerosi cacciatori di comete in America. Allora tutta la fatica dell'Europeo fu sprecata; egli deve rinunziare al premio stabilito da vari corpi scientifici per la scoperta di una cometa. Se la cometa scoperta è della qualità solita, di quelle cioè che muovendosi in orbite paraboliche visitano il Sole una volta sola, allora essa viene designata col numero dell'anno, che corrisponde alla sua massima vicinanza al Sole, in casi eventuali di parecchie apparizioni in uno stesso anno, viene aggiunto anche secondo l'ordine un numero romano, così si parla di una cometa 1881 III o 1890 VII. Ma se il calcolo rivela che la cometa appartiene al ristretto gruppo di quelle che ad intervalli di tempo determinati e relativamente brevi ritornano a visitare il Sole, allora la cometa periodica riceve il nome dello scopritore, che così rimane ad essa legato in tutti i suoi ritorni futuri.

Le 800 comete (circa) conosciute, sono naturalmente solo una piccola frazione, dell'enorme ricchezza in tal genere di oggetti, posseduta dallo spazio celeste. Ma queste in causa dell'indebolimento della loro luce, il quale si verifica regolarmente col crescere della distanza dal Sole, non possono venir seguite nel loro cammino attraverso gli oscuri spazi del cielo oltre un cerchio di raggio doppio della distanza del Sole da noi, ed il periodo della loro visibilità raramente supera la durata di pochi mesi. Sotto questo aspetto apparve affatto anormale la cometa 1889 I, che scoperta il 2 settembre 1888 da Barnard all'Osservatorio Lick, fu vista, per ben 971 giorno, fino al 1° maggio 1891 (nel quale Spitaler in Vienna la vide per l'ultima volta), con interruzioni determinate dal corso annuo apparente del

Sole. La cometa non fu mai molto lucida, benchè all'epoca della sua massima vicinanza al Sole la si sia scorta anche direttamente ad occhio nudo, e si trovò al momento della sua ultima osservazione ad una distanza non prima raggiunta da alcuna altra cometa visibile di 8,2 raggi dell'eclittica, quindi fra le circonferenze delle orbite di Giove e di Saturno, ma più vicina a questo che al primo. Non vi è alcun motivo che faccia congetturare che vi siano molte comete che particolarmente abbian la loro massima prossimità al Sole, compresa nelle distanze che noi possiamo dalla Terra padroneggiare colle nostre macchine telescopiche; per contro il massimo numero delle comete che si trovano nel nostro sistema solare deve rimanere a noi invisibile a causa del grande spazio, pur sempre abbracciato dalla sfera d'azione del Sole, che rimane oltre ai confini tracciati da quelle distanze. Kleiber, un dotto russo troppo presto rapito alla scienza, ha per mezzo di un calcolo di probabilità che si fonda sulla statistica delle comete apparse, trovato che entro l'orbita di Nettuno esistono non meno di 5900 di tali astri, e che ogni anno ve ne entrano 240 ed altrettanti se ne allontanano al di là. Ciò fa che nei duemila anni del nostro computo del tempo, un quarto di millione di comete hanno dovuto attraversare il nostro sistema solare. Kepler aveva quindi pienamente ragione quando diceva che le comete in cielo sono tanto numerose quanto i pesci nel mare.

Kleiber trovò ancora, che fra queste numerose comete, ogni 72 anni una deve descrivere un'orbita, che rende inevitabile il suo urto col Sole. Noi vedremo più tardi (V. pag. 228), che questo caso estremo non è ancora stato osservato, ma che vi furono molte comete che passarono affatto illese, in grande prossimità dell'astro del giorno. Tra queste apparizioni con simili orbite se ne trovano parecchie, come ha dimostrato Holetscheck, le quali malgrado questa grande prossimità, anche quando dovrebbero sviluppare code enormi, non possono mai divenire visibili, perchè si trovano costantemente nel cielo diurno. Con così piccole distanze perielie (si chiama così la distanza di un astro al momento della sua massima prossimità al Sole), le orbite paraboliche di tali corpi debbono girare attorno al Sole in curva molto forte, e quindi i corpi corrispondenti, poche ore dopo aver raggiunto la loro massima prossimità, devono essere risospinte nello spazio, quasi nella direzione stessa dalla quale erano giunte. Quindi se una cometa è giunta al Sole provenendo da un punto del cielo diurno, subito dopo il suo passaggio al perielio, ritorna senz'altro a quella stessa regione, e la sua coda stessa, per quanto possa essere lunga, quando è rivolta dalla parte opposta al Sole, rimane invisibile. La figura 114 dimostra ciò chiaramente. Ma nell'anno si dànno talvolta pochi minuti, durante i quali per una striscia di terra il cielo diurno si oscura, e quindi offre agli astronomi opportunità di ricercare nei dintorni del Sole oggetti sospetti di tale natura, che sappiano in modo particolare nascondersi in quella luce troppo gagliarda. Questi pochi minuti sono gli istanti della totalità di un eclisse solare. Ma durante questi pochi minuti, gli astronomi che bene spesso intraprendono lunghi viaggi per osservare un eclisse, hanno da fare cose ben altrimenti importanti che il ricercare se presso al Sole vi siano comete.

Ora si è ancora coll'aiuto della fotografia, che in occasione di due eclissi solari si trovò sulla lastra un'impressione luminosa, che a giudicare dalla forma e dalla posizione, non poteva provenire da altro che da una cometa. Il primo di questi

casi si verificò in occasione dell'eclisse del 16 maggio 1882 visibile in Egitto; la cometa supposta fu battezzata cometa del Khedive. La sua apparizione serve di base all'annesso disegno dell'orbita apparente di una cometa invisibile (fig. 114), mentre per il suo corso ulteriore furono fatte certe supposizioni che qui non occorre discutere. La seconda impronta di natura cometica fu scoperta da Holden sopra una lastra sulla quale durante l'eclisse totale di Sole osservato nell'America meridionale il 16 aprile 1893 furono fissati i dintorni immediati del Sole. La figura 115 dà uno schizzo di questa parvenza, quale era disegnata sulla lastra. Poichè nè prima nè dopo, non fu scoperta alcuna cometa, la quale all'epoca corrispondente avesse potuto prendere quella tale posizione nei pressi del Sole, così si

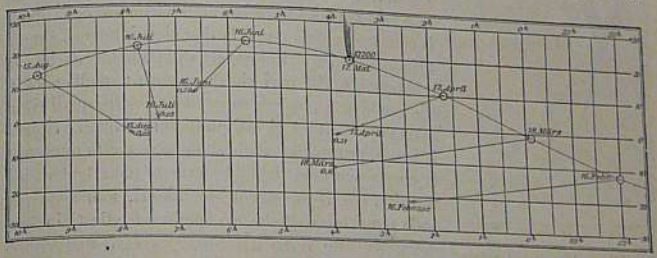


Fig. 114. — Orbita di una Cometa invisibile. I piccoli cerchi dànno la posizione del Solé per le epoche scritte accanto. Presso alle posizioni della Cometa problematica, congiunte col disco a mezzo di linee rette, sono date le sue lucidità teoriche.

presenta la congettura che siano così realmente scoperte traccie di tali astri cometici, che altrimenti si nasconderebbero costantemente nei raggi del Sole. Però non è con ciò pur anco escluso, che qui si tratti di comete che percorrono orbite qualunque, ma che nelle rimanenti parti di esse erano così piccole che noi non potevamo più scorgerle. D'altra parte è possibile altresì, che corpi così poco appariscenti quando giungono a grande vicinanza al Sole, possano acquistare per breve tempo una enorme intensità luminosa, che le rende facilmente discernibili nella luce crepuscolare di un eclisse di Sole.

Se noi adoperiamo nell'esaminare le comete il potente aiuto del cannocchiale, ci si offre una quantità di particolarità che a tutta prima ci stupiscono, ma che ben presto colla loro distribuzione da un unico punto di vista, rischiarano il buio pieno di misteri che circonda questi meravigliosi corpi celesti. Noi riconosciamo subito che lo smembramento delle comete in una testa ed una coda, quale lo abbiamo inteso fino ad ora, richiede una correzione, giacchè le comete telescopiche, quasi senza eccezione, non hanno coda. La massima parte delle comete che vengono dapprima vedute nei cannocchiali, si mostrano come masse nebulose rotonde con una condensazione di luce che va crescendo verso il loro mezzo, che spesso si presenta quale una stella nettamente definita, e molte volte rimane intieramente diluito. Da principio hanno quest'aspetto anche quegli astri che poi col loro ulteriore accostarsi al Sole possono ancora sviluppare una coda assai

grande. Ma l'aureola nebulosa, non manca mai, e si deve considerare come la parte persistente, la cometa vera. La condensazione della luce nell'aureola nebulosa, si chiama il *nucleo* della cometa. Sembra del pari sempre esistente in questi corpi celesti, e solo talvolta si nasconde in un avvolgimento denso che si suole anche chiamare la chioma. La figura 116 è una riproduzione dell'eccellente fotografia della cometa Holmes, ossia 1892 III, e fa vedere l'impressione che per lo più fanno da principio le comete telescopiche. La fotografia fu presa da Barnard all'Osservatorio Lick l'8 novembre 1892, a mezzo di un'esposizione di tre ore; la cometa è la massa nebulare visibile al lembo inferiore della figura. In alto, a destra, è raffigurata la nebulosa di Andromeda, nelle vicinanze della quale la cometa era stata scoperta due giorni innanzi. Questa nebulosa si può riconoscere direttamente anche ad occhio nudo, del pari che la cometa a quell'epoca, il che condusse a notevoli conseguenze, sulle quali ritorneremo più tardi. I piccoli punticini dei quali è ripiena la figura, provengono dalle stelle fisse molto numerose in questa plaga del cielo. Osservando più attentamente si vedrà, che segnatamente le minori, non sono per nulla punticini, o dischi, ma sembrano stirati in lunghezza dall'alto verso il basso. Questa è una conseguenza del cambiamento di sito della cometa, poichè essa durante l'esposizione viene mantenuta sempre nello stesso luogo della lastra, spostando il cannocchiale a mezzo delle sue viti, e quindi tutte le stelle debbono sulla lastra mutare costantemente di posto. Nella fotografia di cometa riprodotta nella figura 117 ciò appare ancora più manifesto, imperocchè in essa le stelle si sono distese in lunghe striscie. La cometa Holmes aveva allora un movimento apparente appena sensibile, per cui si credette che si movesse direttamente verso di noi (V. anche pag. 223).

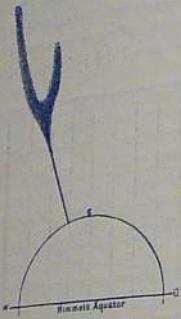


Fig. 115. — Oggetto di natura cometica, scoperto da Holden sopra un rilievo fotografico eseguito in occasione dell'eclisse di Sole del 16 aprile del 1893.

Coll'approssimarsi al Sole di una cometa dapprima telescopica si osserva d'ordinario nel suo interno un'agitazione ognor crescente. L'involucro sbiadito che prima andava perdendosi nel buio del cielo, prende un contorno più definito, diventa più lucido, si condensa verso il centro in un nucleo distintamente riconoscibile, e diviene non di rado, il che è assai degno di nota, più piccolo di prima, sempre astraendo dai cambiamenti d'estensione prodotti solamente dalla distanza che va diminuendo. Spesso anche l'involucro nebuloso si distende in lunghezza verso il Sole, per cui la forma primamente tonda, ora diviene ellittica. Nella maggior parte delle comete che rimangono telescopiche, non si avverte nulla di speciale; quando esse si allontanano dal Sole, i fenomeni si ripetono, ma in ordine inverso. In alcuni casi, però non molto frequenti, si sviluppa dalla chioma una coda molto esile, come quella mostrata dalla cometa di Gale del 1894; la nostra figura 117 è una riproduzione di una fotografia fattane da Barnard.

In quelle comete, che nella loro prossimità al Sole formano una coda ragguardevole, si vedono spesso erompere dal nucleo delle masse luminose, da prima

solo dalla parte che guarda il Sole, così che il fascio luminoso pare lanciato contro quest'ultimo. Ma senza eccezione, in tali casi, il raggio di materia cometica emanato si incurva di nuovo ad una certa distanza dal nucleo, e ricade spesso come una fontana dalle due parti, dietro a quello in arco parabolico, formando così

Fig. 116. — La Cometa di Holmes, presso la grande nebulosa d'Andromeda, fotografata da Barnard all'Osservatorio Lick, l'8 novembre 1892.

dietro al nucleo dalla parte opposta al Sole, la coda. L'avvolgimento che così si produce davanti alla cometa, si chiama la sua cuffia. Le nostre figure *a* e *c* della tavola *Teste di comete*, a pag. 233. che rappresentano rispettivamente la cometa di Halley al suo ritorno del 1835, disegnata da Schwabe il 15 ottobre dell'anno medesimo, e la cometa 1881 III, delineata il 26 giugno da Thury coll'aiuto del refrattore di 10 pollici di Ginevra, possono rendere sensibile questo fenomeno delle emissioni luminose, colla cuffia e le appendici caudali che se ne sviluppano.

Le emissioni di materia luminosa dal nucleo non mantengono sempre la direzione assunta dapprima, ma in alcune, come ad esempio nella cometa di Halley

del 1845, si vide distintamente questo raggio oscillare intorno alla direzione verso il Sole, mentre in altre apparizioni, poco alla volta erompevano dal nucleo sempre nuovi fasci di luce e diretti in tutti i sensi. In causa di queste differenti eruzioni, si generano anche differenti cuffie, le quali, se le eruzioni furono consecutive, si sovrappongono l'una all'altra. Così nelle nostre due tavole (V. pagg. 222 e 233) la cometa 1881 III che il 26 giugno (tav. II, fig. *c*) possedeva una sola cuffia, il 27 (fig. *d*) ne aveva due, ed il 28 tre (fig. *e*). La cometa di Donati, già varie volte menzionata, mostrò anche assai bene queste cuffie sovrapposte, come si può riconoscere dall'eccellente disegno di Bond (tav. I, fig. *a*), del pari si mostrò fornita di cuffie la cometa di Coggia del 1874 (tav. I, fig. *b*). Quando le cuffie si protendono verso il Sole, molto lontano dal nucleo, e pur tuttavia rimangono distintamente visibili, allora il loro aspetto può produrre l'impressione di una coda rivolta verso il Sole. Le cuffie non sono neppur sempre disposte concentricamente l'una all'altra: quando essendo in disposizione non concentrica, ciascuna sviluppa una coda, queste possono prendere direzioni differenti, così che la cometa sembra dotata di molte code. Queste disposizioni si presentarono particolarmente evidenti nella grande cometa del settembre 1882, di cui una cuffia colla sua coda si era di tanto allontanata, che si poteva vedere distintamente come una coda penetrasse nell'altra, così che in certo qual modo si erano prodotte due comete, l'una dentro l'altra. Nella tavola: *Comete lucenti con coda*, fig. *c*, qui annessa, riproduciamo un disegno molto caratteristico di questa cometa col suo tubo di nebbia; quel disegno fu tracciato il 16 ottobre 1882 da Tholon e Gouy all'Osservatorio di Nizza.

Fig. 117. — Cometa Gale, fotografata da Barnard il 5 maggio 1894.

Qui le parti della cometa rimasero fra loro relativamente vicine, così che nel complesso esse facevano l'impressione di una sola, però altre parti di questa cometa si separarono definitivamente l'una dall'altra: essa si frantumò formalmente. In un altro caso famoso, quello della cometa di Biela, del quale dovremo ancora occuparci molte volte, la separazione in due fu così completa, che accanto al primitivo individuo, ne correva un altro di aspetto perfettamente identico al primo (V. il disegno fattone da Struve il 19 febbraio 1846, tav. II, fig. *g*, pag. 233). Essi si allontanarono allora l'uno dall'atro di 310.000 km., ossia in cifre rotonde 24 diametri terrestri, e sei anni dopo riapparvero in questa doppia conformazione, come se avessero assieme compito intorno al Sole una rivoluzione completa, sebbene

COMETE LUCENTI CON CODE

si fossero allontanati l'uno dall'altro di ben nove volte la primitiva distanza, cioè fino a 205 diametri terrestri. Ma questa divisione di una cometa in due non è unica: nel 1860 Liais scoperse una simile piccola cometa consistente di due masse nebulari, che non poterono pur troppo essere seguite; e sembra che alcune comunicazioni di tempi antichi possano venir chiarite a mezzo di tali catastrofi, che ebbero per conseguenza lo spezzarsi di un grosso corpo celeste.

Che in realtà si producano spesso grandi spostamenti della materia cometica dimostrò, con parecchie altre, la notevole cometa del 1882, il cui nucleo si divise in parecchi punti luminosi o condensazioni di luce, senza che si potesse scoprire un motivo esteriore di ciò; si avverta che questa frantumazione non avviene sempre nella massima vicinanza della cometa al Sole, nella quale una tale azione potrebbe venire attribuita allo straordinario e quasi repentino riscaldamento. Un graduale spezzarsi di una cometa in parti sussistenti di per sè fu constatato, fra gli altri casi, nel 1618, subito dopo la scoperta del cannocchiale.

Tali processi interni di natura potente sono denunziati anche dalle repentine fluttuazioni di luce, che in questi ultimi tempi furono osservate in parecchi astri. Per la prima volta ciò avvenne in modo notevole negli anni 1883 e 1884 colla cometa periodica di Pons-Brooks, come fu dimostrato, fra gli altri, da Müller in Potsdam. Si osservò allora che il nucleo si dilatava e si contraeva alternativamente, e quindi pulsava fortemente. Tali fluttuazioni di luce si manifestarono ancora più distintamente nella cometa di Saverthal, ossia 1888 I. (Vedi tavola qui annessa, fig. *e*). L'astro, che fu scoperto ad occhio nudo il 18 febbraio del detto anno, al Capo di Buona Speranza, mostrò una corta coda doppia di circa 2 gradi di lunghezza, come appare dalla nostra riproduzione di un disegno di Spitaler. Dopo che la cometa corrispondentemente al suo corso era divenuta sempre più debole, ed il suo nucleo si era nel frattempo notevolmente allungato, e quindi spezzato in tre parti, essa rilucette improvvisamente di luce gialla chiara, così che Franz in Königsberg la riguardò come una stella fissa che si fosse accesa di nuovo splendore, poichè i cataloghi non indicavano per quel luogo alcuna stella di un tale splendore. Ma in cannocchiali più potenti si mostrarono allora due grossi fasci di luce erompenti dal nucleo. La lucentezza generale era salita di tre classi e mezzo di grandezza, ciò che corrisponde ad un'intensità 25 volte maggiore. Qui avvenne ancora una volta in una parte dell'orbita della cometa, che giaceva molto lontano dall'astro centrale, quell'energico procedimento della eruzione repentina di materia cometica dal nucleo. Erano analoghi a questi i mutamenti osservati nella cometa di Holmes del 1892, la cui orbita risultò dai calcoli tale, che l'astro, per ben tre mesi prima di venir scoperta, aveva dovuto trattenersi in regioni della volta celeste nelle quali non avrebbe potuto sfuggire all'attenzione degli astronomi, se allora fosse stata dotata di lucentezza eguale a quella che aveva nel giorno della scoperta; secondo la regola essa sarebbe stata da mesi in diminuzione, poichè dalla metà di giugno si allontanava dal Sole e fu solamente vista per la prima volta il 6 novembre. Nelle ultime settimane precedenti la sua scoperta, la cometa si mosse segnatamente nell'apparente vicinanza della grande nebulosa d'Andromeda, che certamente a quell'epoca era guardata da centinaia di amici dell'astronomia, i quali senza fallo avrebbero dovuto vedervi un oggetto qualunque non consueto. Repentinamente divenne visibile ad occhio nudo. Anche più lungi

l'astro divenne ancora notevolmente più chiaro. Poichè la prima determinazione dell'orbita mostrò che il corpo doveva muoversi quasi in linea retta, che era diretta verso di noi, ma lasciava al calcolatore l'ambiguità se il suo movimento lungo questa linea l'avvicinasse o l'allontanasse da noi, si preferì adottare la prima ipotesi, giacchè la cometa diveniva sempre più lucente. Il caso di una cometa che si avanzava direttamente su di noi destò, specialmente in America, non poca agitazione. Ma poichè il corso ulteriore della trattazione matematica rigorosa non lasciò alcun dubbio su ciò che la cometa era da lungo tempo passata nella sua massima vicinanza al Sole, e che si allontanava da noi, così anche in questo caso fu constatata una enorme fluttuazione di luce. Un'altra nuova fluttuazione di luce mostrò la cometa alla metà del gennaio 1893. Palisa, in Vienna, a quell'epoca non trovò più la cometa nella sua forma solita, ma per contro vide, come era già avvenuto per la cometa di Sawerthal, in suo luogo una stella gialla chiara, che era circondata da un sottile involucro nebuloso. Così scomparve poco per volta nel profondo dell'universo.

A queste repentine fluttuazioni di luce se ne aggiungono delle altre periodicamente durevoli, od almeno congetturate tali. Le comete periodiche di Encke (Tav. a pag. 233, fig. *b*) e Brorsen, nei loro varii ritorni al Sole, hanno mostrato disuguali intensità di luce, che non si poterono spiegare unicamente colle loro posizioni rispetto al Sole ed alla Terra, mutate ad ogni volta, e condussero Berberich dietro certe comparazioni a congetturare che queste comete, od anche tutte, senza eccezione, possedessero una più forte intensità di luce alle epoche nelle quali il Sole è più abbondante di macchie. Il numero, infatti, delle comete scoperte telescopicamente, sembra essere segnatamente maggiore in questi anni di più alta attività solare, che non nei periodi di quiete dell'astro centrale. Poichè non si può ammettere che le comete che a noi giungono dai più remoti punti dell'universo siano realmente più abbondanti negli anni di più numerose macchie solari che negli altri, così si può senza sforzo spiegare quella oscillazione nel numero delle scoperte, ammettendo che tutte le apparizioni a quelle epoche critiche siano più lucenti che in altri tempi, e quindi si possano più facilmente trovare.

Anche lo spettroscopio ha confermato che l'irradiazione di luce delle comete è soggetta nella sua natura a grandi variazioni, che in generale dipendono dalla loro posizione rispetto al Sole. La scomposizione prismatica della luce delle comete dimostrò prima di tutto che questi corpi celesti, a differenza di tutti quelli considerati fin'ora, risplendono di luce propria, poichè il loro spettro consta di linee o bande chiare. Per contro il debole spettro continuo, che segnatamente nelle 217 apparizioni a nucleo notevole si sovrappone alle bande caratteristiche delle comete (V. tavola: *Spettri di vari corpi celesti*, a pag. 73) proviene almeno in parte dalla luce solare, che viene riflessa dalle particelle del nucleo. Il 24 giugno 1881 riuscì ad Huggins di fotografare gli spettri delle comete 1881 II e 1882 I, che mostravano distintamente delle linee di Fraunhofer. Lo spettroscopio lascia però tuttavia in dubbio, se una parte dello spettro continuo non sia prodotta da luce propria delle comete, che emana da qualche massa solida incandescente. (Circa i principii generali che qui vengono utilizzati, vedasi il Capitolo sull'analisi spettrale, p. 64). Ma quello spettro a bande delle comete non può provenire che da gas incandescenti od in altro modo lucenti di per sè. L'identificazione di queste bande, con sorgenti terrestri

di luce, si urtò però a talune difficoltà, giacchè esse si presentarono molto sbiadite, e perciò non offrivano alla misura alcun solido punto d'appiglio. Il dilavamento dipende da ciò, che a causa della debolezza della luce dell'oggetto, bisogna aprire molto la fessura dello spettroscopio, per lasciar entrare più luce che si può. Ma poichè le linee appaiono sempre almeno tanto larghe quanto la fessura, giacchè esse sono realmente un'immagine di quella, così esse, quando sono fra loro molto vicine, si sovrappongono e si cancellano l'una coll'altra.

Tutto l'aspetto dello spettro delle comete rammenta subito quello delle combinazioni degli idrocarburi, come ad esempio del gas illuminante. I loro spettri hanno cioè la proprietà di essere composti di un gran numero di linee, fra loro molto vicine e formanti dei gruppi, che cominciano all'estremità rossa, colle loro linee più lucide, e mostrano entro ad un medesimo gruppo verso il violetto linee sempre più deboli (Vedi la tavola degli spettri a pag. 73). Ora quando studiando gli spettri degli idrocarburi, si apre molto la fessura, essi mostrano realmente una grande rassomiglianza con quelli delle comete. Essi però posseggono ancora due bande di questa natura, che mancano negli spettri delle comete, ma che sono più deboli delle altre tre, così che si può ben ammettere che esse esistano anche negli spettri delle comete, ma che i nostri istrumenti non ci permettano di constatarle. Difatti sembra anche che Vogel abbia veduto traccie di queste bande nella cometa Wells. Naturalmente non si potè stare contenti a questa sola constatazione della somiglianza dei due spettri. Scheiner ha raccolto per otto comete, che sole, fra le 30 esaminate da che si incominciò ad applicare lo spettroscopio ad oggetti celesti hanno fornito sufficienti osservazioni, le lunghezze d'onda misurate dei massimi luminosi di quelle bande e trovò così in media 563,₀, 516,₀ e 471,₉ millionesimi di millimetro. Le linee chiare del cominciamento dello spettro di un idrocarburo (si era scelto l'acetilene) che corrispondono alle bande delle comete, hanno le lunghezze d'onda 563,₅, 516,₅ e 473,₈, coincidono quindi eccellentemente con quelle fino all'ultimo gruppo nell'azzurro. Ma le misure del gruppo azzurro per gli spettri delle comete sono ancora affette da incertezze, che possono ben chiarire il divario. Ricerche minute di Vogel, che si riferiscono a talune speciali particolarità degli spettri, hanno frattanto indotto questo ricercatore alla persuasione che le comete oltre ai carburi d'idrogeno, contengono anche degli ossidi di carbonio.

Dal 1864, quando per la prima volta lo spettroscopio fu da Donati in Firenze rivolto ad una cometa, in tutte le comete che si potè sottoporre ad esame apparvero le tre bande dello spettro, tranne che nella menzionata notevole cometa di Holmes, che aveva unicamente una fascia continua colorata, senza interruzioni o rinforzi. Però una cometa scoperta nell'anno 1882 dall'americano Wells, fece da principio un'eccezione molto interessante alla regola generale a questo riguardo: giacchè essa nel primo stadio lasciò scorgere solo debolmente lo spettro normale, e perciò mostrava tanto più uno spettro continuo, abbastanza lucido, il quale per ultimo, quando l'astro era più prossimo al Sole, si cambiò repentinamente affatto nella ben nota e lucida linea gialla, che è prodotta dal sale da cucina volatilizzato, la linea del sodio. La cometa conteneva quindi senza dubbio questa sostanza, che divenne incandescente solo nei pressi del Sole. Quando poi la cometa si allontanò di nuovo dal Sole, scomparve anche la linea del sodio, e lo spettro ordinario riprese il suo posto.

È tuttavia degno di nota, che prima nessuno di questi astri si era tanto accostato al Sole, quanto la cometa Wells, ed era stato contemporaneamente esaminato collo spettroscopio. La sua minima distanza dal Sole, che fu toccata l'11 giugno, fu di soli 9 milioni di chilometri, quindi appena la quinta parte di quella di Mercurio. La quantità di calore che la cometa dovette ricevere in quella posizione, superò di ben 270 volte quella che noi riceviamo. Che questa vicinanza esercitasse sulla cometa una potente azione, mostrò anche la sua lucidità insolitamente grande, che la rese visibile in pieno giorno ben vicino al Sole, il 5 giugno.

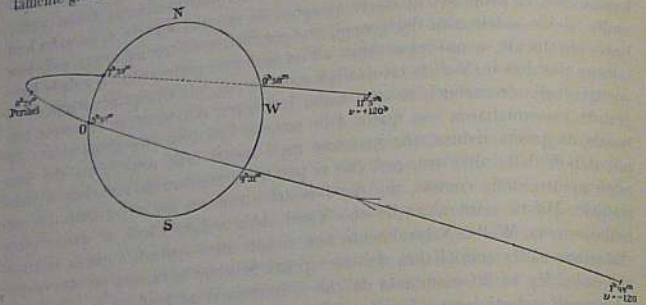


Fig. 118. — Corso apparente della grande Cometa del settembre 1882. nelle vicinanze del suo perielio. Secondo Kreutz.

Già alla fine di maggio la parte gialla dello spettro era divenuta ragguardevolmente più lucida, ed il 31 maggio Vogel in Potsdam osservò per la prima volta la linea del sodio. Molto notevole fu anche allora il repentino svanire dello spettro normale che, secondo ricerche di Hasselberg in Pietroburgo è spiegabile solo coll'intervento di fenomeni elettrici, nelle manifestazioni intorno alla testa della cometa. Infatti se si riscalda nel modo ordinario una miscela di un carburo d'idrogeno e di vapore di sodio, appaiono gli spettri dei due gas, l'uno all'altro sovrapposto; ma se si fa scattare la scintilla elettrica, il sodio si riscalda molto più del carburo d'idrogeno, quest'ultimo viene, nello spettroscopio immediatamente superato e scompare.

La cometa scoperta dopo quella doveva pure arrecare una conferma dell'opinione che l'irradiazione solare produce questa meravigliosa trasformazione dello spettro cometrio. La cometa del settembre 1882 s'accostò al Sole ancora assai più della cometa Wells. Quando il 17 settembre girava attorno al Sole in un arco molto breve, essa si trovò a soli 1.130.000 km. dal centro di esso ed a 440.000 km. dalla sua superficie, cioè solo poco più della distanza della Luna da noi. La forza irradiante del Sole, la sua azione calorifica e luminosa doveva essere colà 16.600 volte maggiore di quella che noi risentiamo. Quanto fosse enorme l'influenza di questa irradiazione solare, lo si riconobbe allo sviluppo di luce della cometa, quale non si rivide più mai. Per il nostro punto d'osservazione essa non solo

s'accostò al Sole più del suo predecessore, la cometa Wells, ma passò precisamente sul suo disco, fenomeno che non si era mai prima osservato. Il 17 settembre gli astronomi dell'Osservatorio del Capo e di Cordoba nell'Argentina, tenevano dietro alla cometa, che s'andava sempre più accostando al disco solare, e pur tuttavia si conservò così lucente che essa si mantenne visibile nei cannocchiali, in regioni nelle quali mai prima nessun astro aveva posseduto uno splendore approssimativamente sufficiente da poter concorrere col Sole. Ma quando la cometa raggiunse il lembo del Sole, avvenne come un miracolo: l'astro che ancora un minuto secondo prima era ancora così lucente, sparì completamente, e durante il suo passaggio davanti al Sole, che era esattamente conosciuto nel suo percorso, non lasciò scorgere di sè traccia alcuna, nè chiara, nè oscura. La cometa possedeva quindi esattamente la stessa luminosità del Sole. Per contro la cometa emerse dall'altro lembo di nuovo intatta. Il fenomeno era così meraviglioso, che Gould in Cordoba credette che la cometa fosse passata dietro al Sole, il che invece avvenne solo qualche ora dopo, quando la cometa aveva già attraversato il suo perielio. La figura 118 dà il corso apparente nelle ore pomeridiane del 17 settembre. I tempi sono valevoli per il meridiano di Berlino. Le indicazioni $v = -120°$ e $+120°$, si riferiscono alla così detta anomalia vera della cometa, il cui significato verrà spiegato più tardi. Segue da essi che questo meraviglioso astro nell'intervallo di tempo fra 1 *h* 44 m e 11 *h* 5 m., visto dal centro del Sole, ha percorso un arco di due volte 120 gradi (*a*). Quando poi la cometa riprese ad allontanarsi ancora dal Sole, fu per alcuni giorni invisibile, giacchè la sua luce diminuì così ragguardevolmente, che essa non era più percettibile sul cielo diurno; quando poi rivolse il suo corso verso il cielo del mattino, la si vide ornata di un'immensa coda quasi rettilinea.

Il 18 settembre, Thollon, in Nizza, osservò per la prima volta lo spettro della cometa che allora si trovava a soli tre gradi ad occidente del Sole. Essa non mostrò molto intensa la doppia linea D, bensì inoltre un più gran numero di altre linee lucide, delle quali alcune si poterono identificare per quelle del ferro; attraverso al tutto scorreva uno spettro continuo. Poichè l'osservazione fu istituita di giorno e così vicino al Sole, era contemporaneamente visibile lo spettro solare solito, colle sue linee di Fraunhofer. In questo appare anche la linea D, ma oscura. Ora Thollon s'avvide subito che le due linee oscure non coincidevano colle due linee chiare. In questo caso si poteva misurare facilmente la grandezza del distacco senza applicare alcun mezzo sussidiario particolare, paragonandolo colla distanza delle due linee D. Ora rammentiamo che le nostre cognizioni sull'analisi spettrale ci dicono (V. pag. 64 e segg.) che un tale spostamento rivela un movimento della sorgente di luce. Uno spostamento della lunghezza della distanza delle due linee D corrisponde ad un movimento di 305 km. al secondo; il paragone diede per risultato che la cometa allora si allontanava da noi fra 61 e 76 km. al minuto secondo. Thollon determinò a suo tempo questo importo, senza avere alcuna conoscenza di sorta della vera orbita dell'astro. Il calcolo diede più tardi che il moto in realtà fu quasi esattamente di 76 km. al secondo. Non appena la cometa riprese ad allontanarsi di nuovo dal Sole, la linea del sodio andava sempre più

(*a*) *h.* è l'abbreviazione del latino *hora* che significa ora. (N. d. T.)

impallidendo, mentre lo spettro solito acquistava in chiarezza. Dopo il 7 ottobre ogni traccia delle linee chiare era scomparsa.

Dopo questa grande cometa ne apparve una simile nel 1887, la quale prosabilmente si è accostata ancora di più al Sole, ma sfortunatamente essa fu visibile solo per breve tempo nell'emisfero meridionale della Terra, così che il suo spettro non fu esaminato. Da quell'epoca la linea del sodio non fu più veduta in alcuna cometa, tranne che in un caso dubbio, quello della cometa periodica di Pons-Brooks (1884 I), nella quale parve a Vogel di veder tralucere la linea D, quando la cometa nelle sue pulsazioni già menzionate della sua intensità luminosa, risplendette particolarmente lucida.

La grande cometa del settembre 1882, della quale già ebbimo precedentemente ad occuparci, andò nel suo passaggio al perielio manifestamente soggetta a ragguardevoli perturbazioni interne, così che ben presto la si vide scissa in un gran numero di pezzi, di ammassi nebulari, che si andavano gradatamente allontanando dal nucleo principale. Il nucleo si spezzò per la prima volta in due, e più tardi ancora in più pezzi: il 18 ottobre, Tempel in Firenze vide quattro nuclei: quindi, dopo che la cometa si era deformata nel già menzionato curiosissimo tubo di nebbia (Tavola a pag. 222, fig. *c*), si staccarono da essa in diverso modo delle masse nebulari, ed accompagnarono la cometa principale a distanza ognor crescente. Il 9, 10 ed 11 ottobre, Schmidt in Atene vide accanto alla cometa tali forme di nubi, ed il 14 ottobre Barnard ed il 21 ottobre Brooks osservarono ancora altre simili formazioni. Bredichin, Zelbr, Hepperger hanno calcolato delle orbite di questi corpi secondari, e trovato con ciò, che essi battevano vie affatto simili a quella della grande cometa, ma poterono nel tempo medesimo stabilire che queste orbite non avevano fra loro alcun punto comune. Si deve quindi ammettere che durante la vicinanza della grande cometa al Sole, influenze incalcolabili abbiano sospinto queste masse nebulari fuori dell'orbita normale del corpo che loro diede origine.

Si comprende facilmente che in una prossimità così insolitamente grande alla sfera incandescente del Sole, debbano anche intervenire azioni straordinarie, quando si pensi che il corpo del Sole sospinge le sue formidabili eruzioni, le protuberanze, fino a tale distanza. Lo spettroscopio ci attesta in modo che non ammette dubbio, che le comete sono costituite di parti materiali, e che non sono meri fenomeni ottici od elettrici, come per lungo tempo si era creduto sul serio. Si può infatti, come vedemmo, indicare la natura della materia cometica. Lo stesso vale per quelle eruzioni del Sole attraverso alle quali corsero la cometa del settembre 1882, e due altre comete passate vicino al Sole, con velocità che non si riscontrano neppure approssimativamente in tutti gli spazi celesti. Fra questi astri, quello (1880 I), scoperto due anni prima sull'emisfero Sud, si accostò al Sole ancora più di quello del 1882. Il 27 febbraio, al suo passaggio al perielio, esso distava dalla superficie della sfera solare ancora di 185.000 km., quindi solamente della metà della distanza della Luna da noi, e nel primo minuto successivo al passaggio al perielio girò furibondo intorno ad esso colla velocità inconcepibile di 540 km. al minuto secondo, circa mille volte più rapida dei nostri più celeri proiettili. Per l'altro astro affine del 1843, Plantamour trovò una prima orbita che lo avrebbe portato sotto la superficie del Sole. Ma in causa di inesatti dati

circa le posizioni della cometa, questo calcolo fu riconosciuto come non accettabile; tuttavia la vicinanza al Sole risultò in questo caso ancora più considerevole di quella precedentemente indicata. Queste tre comete assieme a quella 1887 I, già menzionata, e ad un'altra del 1680, che mostrano fra loro, anche per altri rispetti, una grande affinità sulla quale ritorneremo presto, stanno in disparte colla loro grande vicinanza al Sole, nella storia delle comete, e tutt'al più si potrebbe classificare in questo notevole gruppo la cometa aristotelica del 372 a. C. sulla quale si posseggono alcuni dati, i quali però appena giovarono come base ad un calcolo molto incerto.

Ma quanto maggiore è la velocità colla quale un corpo materiale penetra dentro ad un altro, tanto più potente è anche la resistenza che questo oppone al suo moto. Ora è uno dei più grandi enigmi che quei corpi celesti meravigliosi propongono al ricercatore, quello che il loro movimento durante il loro passaggio attraverso a regioni così prossime al Sole, le quali senza dubbio sono piene di gas ed anche di particelle materiali solide, non abbia subito alcun rallentamento di sorta percettibile da noi. Per poter intendere le circostanze che si presentano nella discussione di questa questione, noi dobbiamo premettere, anticipandole dalla seconda Sezione di questo lavoro, alcune proprietà delle orbite di questi corpi celesti.

Tutti i corpi celesti, le cui orbite si possono determinare con sicurezza, si muovono lungo ellissi, parabole od iperboli intorno ad una massa centrale, che nel caso dei pianeti e delle comete è il Sole. Fra le proprietà di questi tre gruppi di linee di percorso, ci interessa qui anzi tutto solo quella che esprime che l'ellisse possiede una forma chiusa, così che un corpo che si muova lungo una tal linea, deve periodicamente riprendere sempre lo stesso punto di partenza rispetto al centro intorno al quale si muove. È noto che i pianeti si muovono attorno al Sole appunto lungo ellissi. L'iperbole e la parabola hanno comune questa proprietà, che un corpo che si muove lungo esse, non può girare che una volta sola attorno al centro che ha prodotto il suo movimento; tali corpi giungono a noi apparentemente dall'infinito, e vi ritornano ancora. Fra tutti i corpi celesti solamente le comete possono percorrere orbite di tutte tre le specie, giacchè questi esseri riuniscono in sè quasi tutte le proprietà che siano mai state constatate su qualsiasi altro corpo celeste. La massima parte delle orbite delle comete sono parabole, mentre nel catalogo delle orbite si trovano solo ben poche iperboli ben dichiarate; in tutto il numero se ne riscontra appena una mezza dozzina. Di comete ellitiche se ne conta per contro una sessantina, diffalcando i casi dubbi. Questi astri devono quindi ad intervalli di tempo determinati far ritorno al Sole, sebbene questo in realtà non sia stato osservato per tutti.

Le varie forme di orbite si possono per mezzo dell'osservazione determinare in modo indubitabile, del pari che le posizioni delle orbite rispetto ai piani fissi, e le velocità colle quali le comete si movevano in un dato istante. Ora per decidere se due comete osservate ad epoche differenti siano identiche, poichè per la variabilità dell'aspetto esterno di questi astri non si può per la verifica dell'identità fare il minimo conto sopra una qualsiasi somiglianza d'apparenza come punto fisso di partenza, così si deve prima di tutto constatare la natura ellittica delle loro orbite, e poi devono le orbite delle due apparizioni coincidere nello spazio, entro i limiti d'incertezza del calcolo, e finalmente si deve dimostrare che la

velocità delle due comete e la durata della loro rivoluzione corrisponde all'intervallo fra due apparizioni.

Dall'accertamento dell'identità della grande cometa del settembre 1882 con altre apparse prima o poi dipende strettamente la questione di quella qualsivoglia resistenza, che gli strati più eccelsi dell'atmosfera solare opposero a questo astro; poichè queste resistenze restringono le orbite, così il ritorno dell'astro al Sole dovrebbe esserne anticipato.

Così noi ritorniamo ad avere alle viste la grande cometa meridionale del 1880. Questa fu veduta il 31 gennaio ad occhio nudo contemporaneamente da molti abitatori dell'emisfero meridionale, ma essa si era prima solo presentata nel crepuscolo della sera per la sua coda lunga circa 40 gradi, mentre evidentemente la sua testa si nascondeva ancora nella massima prossimità del Sole. Il 3 febbraio stesso, Gill dall'Osservatorio del Capo non poteva telegrafare all'astronomo reale di Greenwich, altro che questo: " We have a comet by the tail, and I am sorry " to say that we only have him by the tail still „ (Noi teniamo una cometa per la coda, e spiacemi dover dire, che ancora non la teniamo per altro che per la coda). Solo il 5 febbraio riuscì a Gould in Cordoba (Argentina) di vedere la testa e di determinarne la posizione. Il nucleo era assai diffuso e sbiadito, così che le misure rimasero affette da una grande incertezza. La cometa diminuì rapidamente di splendore ed il 19 febbraio non era più visibile nei cannocchiali degli osservatori del Sud: al di qua dell'equatore naturalmente essa non fu visibile. Dal calcolo risultò che l'astro durante questi brevi quattordici giorni della sua visibilità, aveva percorso nello spazio quasi una linea retta dipartentesi dal Sole. Questa linea retta coincidette quasi esattamente con una parte dell'orbita della grande cometa del 1843. Subito nacque la questione, se i due astri non fossero identici. L'ultimo astro era, al pari di quello già varie volte menzionato del 1882, emerso nella vicinanza immediata del Sole il 28 febbraio 1843 sul cielo diurno, e si riuscì allora persino a prenderne una posizione. Di sera la si potè vedere di nuovo per la prima volta il 4 marzo all'Osservatorio del Capo; allora la coda che come nella apparizione del 1880 era lunga circa 40 gradi e quasi rettilinea, diminuì rapidamente di lunghezza e di splendore, finchè l'astro scomparve il 19 aprile. La durata della visibilità fu adunque più lunga nel 1843 che nel 1880, e quindi l'orbita ne fu determinabile con maggior sicurezza, poichè naturalmente è più facile il completare, ad esempio, un ellisse da un lungo pezzo noto di essa più che da uno corto.

Dalla circostanza della coincidenza dei tratti delle due orbite che erano divenuti noti, non si poteva in questo caso conchiudere alla coincidenza delle parti rimanenti, perchè essi erano troppo brevi e potevano venir completati nelle più diverse maniere, come si può vedere dall'annesso disegno (fig. 119). In esso abbiamo disposto un'ellisse, una parabola ed un'iperbole in guisa l'un all'altra vicina, che i loro rami che si trovano nelle vicinanze del fuoco comune, coincidano. Ora quelle comete poterono venir osservate solo in questi tratti coincidenti. La questione dell'identità sarebbe stata senz'altro decisa, se dalle osservazioni delle due apparizioni si fosse potuto dedurre una durata di rivoluzione di circa 37 anni, chè tanti ne correvano dall'una all'altra. In realtà venne fatto a Weiss, in Vienna, di dimostrare che tutte le osservazioni del 1843 si potevano senza alcuno sforzo

accordare con una cosifatta ellisse, e l'autore dimostrò il medesimo per l'apparizione del 1880. Weiss con molti altri astronomi sosteneva caldamente su questa base l'opinione, che le apparizioni erano di un medesimo astro, e che la cometa quindi apparteneva a quelle periodiche, e che ritornava al Sole ogni 37 anni. Egli citava sette comete che erano apparse ad intervalli multipli di 37 anni, cioè quelle del 1106, 1179, 1363, 1511, 1695, 1843 e 1880. Contro questa opinione si obiettò che un'apparizione così grandiosa, nei suoi presupposti ritorni del 1732, 1769 e 1806, non avrebbe potuto sfuggire all'attenzione dell'umanità, neppure quando la cometa, secondo il suo costume, fosse stata ancora solamente visibile sull'emisfero meridionale. L'orbita in questione appartiene a quelle, sulle quali una cometa può in certe circostanze rimanere affatto invisibile. Questo, ad esempio, sarebbe avvenuto per la nostra cometa, se il suo passaggio al perielio fosse caduto nei mesi di estate; e ciò poteva benissimo essere successo nei tre ritorni in questione.

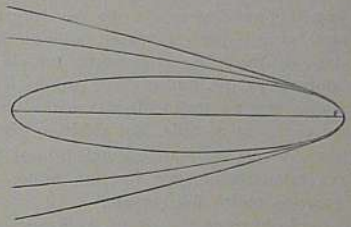


Fig. 119. — Ellisse, parabola, iperbole.

Quindi, se Weiss avesse ragione, cioè se la cometa fosse regolarmente ritornata ogni 37 anni, essa non avrebbe subìto alcuna resistenza nell'atmosfera solare. Per contro Klinkerfues sostenne l'opinione opposta. Egli calcolò che si richiedeva solo una diminuzione di un 1320mo della velocità della cometa al suo passaggio al perielio, rispetto alla primitiva, per cagionare un accorciamento della durata della rivoluzione così rapido, che la cometa dall'anno 372 prima di Cristo, avrebbe potuto apparire solo ancora due volte prima del 1880, cioè nel 1668 e nel 1843. La durata della rivoluzione avrebbe quindi dovuto essere fra la prima e la seconda apparizione di 2039 anni, quindi di soli 175 e finalmente di soli 37 anni. Quand'anche nella sua ultima vicinanza al Sole la velocità fosse diminuita dell'uguale importo di un 1320mo, cioè invece di 540 km. al secondo, fosse discesa a 539,6 km., la sua presente durata di rivoluzione importerebbe ancora 17 anni; essa dovrebbe quindi essere tornata nel 1897.

Questa opinione di Klinkerfues aveva rispetto a quella di Weiss prima di tutto il vantaggio, che non conduceva alla conseguenza fisicamente incomprensibile dell'assoluta inesistenza di resistenza delle regioni piene di gas nelle vicinanze del Sole. Inoltre si potè mostrare che le osservazioni pervenuteci dell'apparizione del 372 prima di Cristo e del 1668 si potevano col calcolo rappresentare nelle orbite di quelle del 1843 e rispettivamente del 1880, mentre le comete tirate in campo da Weiss, in causa di troppo scarse notizie intorno ad esse, non poterono venir sottoposte ad una corrispondente ricerca. Da quegli anni altro non ci giunse fuorchè la notizia che le comete erano state vedute.

Così stavano di fronte queste due opinioni fondamentalmente diverse, quando apparve la cometa del 1882 e diede torto ad entrambe. Essa correva esattamente lungo la stessa orbita di quelle del 1880 e 1843, e relativamente anche di quelle del 1668 e del 362 a. C., ed il suo aspetto era parimente della medesima natura.

Ma si dovette escludere intieramente la possibilità che questa cometa fosse identica con quella del 1880, pel fatto dell'essere stata ancora maggiore la forza di resistenza dell'« etere », come lo aveva ammesso Klinkerfues. Per di più era impossibile di far accordare le osservazioni del 1880, che tutte erano state istituite dopo il passaggio al perielio, cioè dopo che aveva agito l'influsso cercato, con un'ellisse così breve di una durata di rivoluzione di due anni e mezzo, e d'altra parte le osservazioni del 1882 diedero una durata di rivoluzione molto più lunga, che nell'ultimo caso si potè determinare con molto maggior sicurezza che per le comete precedentemente apparse del gruppo in questione, poichè l'apparizione era stata visibile per un tempo molto più lungo. La prima determinazione della posizione di questa meravigliosa fra tutte le comete fu eseguita l'8 settembre all'Osservatorio del Capo, l'ultima in Cordoba il 1° giugno 1883. Essa potè quindi essere seguita per un tratto discretamente lungo del suo cammino prima e dopo la sua vicinanza al Sole. Noi abbiamo già menzionato che mentre essa passava precisamente alla sua massima vicinanza al Sole, ove persino di giorno chiaro risplendeva intensamente per l'occhio nudo, vennero istituite delle osservazioni che riuscirono molto felicemente.

I calcoli accurati istituiti da Kreutz in Kiel sul movimento di questa cometa, le diedero una durata di rivoluzione di 772 anni, con un'incertezza teorica di appena tre anni in più od in meno. Ora gli annali narrano di una cometa dell'anno 1106, che così sarebbe anteriore a quella del 1882 appunto di 776 anni, e che come essa fu veduta di pieno giorno molto vicina al Sole, il 4 o il 5 febbraio del detto anno. Anche le altre notizie europee e chinesi, che si posseggono intorno a quest'astro, si poterono al bisogno concordare coll'orbita del 1882. Così non fu esclusa l'identità di questi due astri; ma per nessun modo le comete del 1880, 1843, 1668, ecc., possono essere identiche con quella del 1882.

Ora con ciò fu dimostrato il fatto notevolissimo, che diverse comete potevano percorrere l'una dopo l'altra il loro cammino lungo una medesima orbita, ovvero in orbite assai prossimamente coincidenti. Ciò fu ben presto altresì confermato dalla cometa 1887 I che di nuovo passò vicino al Sole lungo l'orbita istessa. Noi possiamo ora registrare nove apparizioni di comete, delle quali quattro sicuramente, le altre cinque probabilmente, corsero lungo orbite quasi eguali, delle quali solo due, al più tre, erano realmente identiche. Quando si estenda nella pratica fino a 20 anni l'incertezza teorica della durata della rivoluzione della cometa 1882, il che è ben permesso, in un caso così straordinario, allora la cometa di Aristotele molte volte menzionata, che sicuramente passò anche molto vicino al Sole, rimane indietro di tre rivoluzioni a quella del 1882. Le altre otto apparizioni sono quelle del 1106, 1668, 1680, 1843, 1880, quindi la problematica cometa Khedive veduta in occasione dell'eclisse solare del maggio 1882, e finalmente la cometa principale del gruppo, quella di quest'ultimo anno, e quella del 1887.

Una coincidenza accidentale di un così gran numero di orbite di comete era naturalmente improbabile, *a priori;* non si capirebbe infatti, come la natura che ha a sua disposizione gli spazi illimitati dell'universo, avesse senza speciale causa, e quindi senza che le apparizioni corrispondenti stessero fra loro in istretta dipendenza, prescritto a corpi celesti diversi la stessa via. Noi vedremo più tardi ancora come questo si trovi intieramente opposto ai principi, che regolano nel resto la

TESTE DI COMETE

costruzione dell'universo, nel quale la stabilità del tutto è per quanto è possibile assicurata da ciò che fra i corpi celesti analoghi sono intercalati degli spazi enormi. Ora la cometa del 1882 ha posto direttamente davanti agli occhi la soluzione del problema. Noi vedemmo già più avanti, come se ne staccassero dei pezzi, che con velocità alquanto diverse procedevano poco distanti da essa. Questi pezzi avevano per lo più un nucleo distintamente discernibile, e si comportavano quindi come comete indipendenti, sussistenti di per sè. Anche il nucleo della cometa principale si scisse in quattro parti (V. tavola qui annessa, fig. *f*: nella fig. *h* della tavola medesima è rappresentato un altro stato della stessa cometa), delle quali almeno una prossima al nucleo principale sviluppò una cuffia propria e la sua coda, cosicchè la stessa cometa principale si era spaccata secondo tutta la sua lunghezza in due individui, che percorrevano in cielo ad un dipresso, ma non completamente, il medesimo cammino. La reciproca distanza di tutte queste parti andò costantemente crescendo, e quando la cometa principale dopo circa 770 anni ritornerà al Sole, queste comete vicine si saranno di già allontanate da essa di un tratto così ragguardevole, che dovranno passare vicino al Sole, molti anni prima o dopo, come fecero le comete del 1880, 1843, ecc. È quindi quasi indubitabile, che tutti questi astri ne formassero una volta un unico, che dall'azione inconcepibilmente potente dell'irradiazione solare ad una distanza così insolitamente piccola, fu parecchie volte infranto, così che ora il contenuto del suo corpo va ognor più distendendosi lungo la sua orbita.

Noi abbiamo già addotto esempi di comete che si frantumarono (Liais, Biela); ma doveva ancora fra l'apparizione del 1880 che sollevò la questione e quella del 1882 che la risolse, presentarsi nel 1881 una cometa, la quale decisamente, come d'altronde ciò poteva anche avvenire in qualsiasi modo, doveva illustrare l'esistenza di comete apparenti a coppie, i cui individui distano fra di loro di parecchi anni lungo la loro orbita comune. L'astro del 1881 fu osservato durante molti mesi, ed a causa della natura nettamente stellare del nucleo che la distingue, le sue determinazioni di posizione furono di un'esattezza straordinaria. Le 423 osservazioni che servirono alla determinazione dell'orbita diedero per la durata della sua rivoluzione 2954 anni, risultato che teoricamente è incerto solo di pochi anni. Ma ora la posizione e le altre proprietà dell'orbita dimostrano una rassomiglianza molto grande con quella della grande cometa del 1807, la quale del pari potè essere osservata a lungo e bene, e la determinazione della cui orbita appartiene ai classici lavori di Bessel. Ma i 74 anni d'intervallo non si possono sotto nessuna condizione portare in concordanza colle osservazioni: inoltre Bessel trovò per l'apparizione del 1807 una rivoluzione di 1713 anni. La differenza di queste durate di rivoluzione mostra già che le orbite del 1807 e del 1881 non coincidono completamente. Anche per ciò che riguarda la loro posizione nello spazio le ellissi sono solamente simili. Lo stesso vale per il gruppo di comete considerato precedentemente in disteso. Da quanto precede si comprende facilmente che per la potente divisione avvenuta nelle vicinanze del Sole, le comete secondarie prodotte debbono battere vie più o meno diverse dalla primitiva.

Questa dimostrazione dell'esistenza di gruppi di comete rese debole assai il punto d'appoggio sovra il quale si basava, pro o contro, l'opinione della problematica resistenza di gas nei pressi del Sole, che Klinkerfues e Weiss avevano

accampata. Però, a causa dell'incertezza delle osservazioni, non rimane escluso come impossibile, che le apparizioni del 1843 e 1880, che non contradicono direttamente ad una ellisse di 37 anni, non appartengano in realtà ad una sola e medesima cometa che si fosse staccata dall'astro principale del 1882 in un precedente avvicinamento al Sole, e stata sospinta in un'orbita così ristretta; tuttavia non si potè dare una dimostrazione positiva di ciò, nè della supposizione che essa sia ritornata ogni 37 anni. Così neppure nulla si potè addurre in favore di un qualsiasi regolare accorciamento della rivoluzione, giacchè non esisteva più alcun argomento, che dalla somiglianza delle orbite costringesse a conchiudere all'identità degli individui. Ma però l'apparizione del 1882 porse un mezzo positivo ma molto sorprendente di dimostrazione in questa importante questione, inquantochè essa fu la sola di questo gruppo che potesse venir seguita con sufficiente esattezza anche prima del passaggio al perielio, col che si provò che l'orbita prima come dopo viene a coincidere perfettamente con questa grande ellisse di circa 3000 anni di rivoluzione. Le osservazioni così non lasciarono apparire alcuna traccia di una qualsiasi resistenza dell'involucro gasoso del Sole, che la cometa attraversò allora con velocità così inaudita ed inconcepibilmente grande.

Per contro, sembrò che un'altra cometa, che s'accostò di gran lunga meno al Sole, avesse sofferto dei ritardi regolari, che sarebbero a chiarirsi a mezzo della resistenza di un mezzo riempiente lo spazio, quell'etere cosmico, che deve necessariamente esistere come apportatore della luce e delle altre energie raggianti per l'universo. Essa, la cometa periodica di Encke, è un astro di per sè senza apparenza, che ritorna al Sole ogni tre anni ed un terzo e che dal 1786 potè essere osservata in 27 ritorni (V. tavola: *Teste di comete*, fig. *b*). Encke, che pel primo scoprì nel 1822 la periodicità dell'astro, a mezzo di calcoli lunghissimi dimostrò che pur tenendo il più accurato conto di tutte le azioni conosciute, non è possibile il subordinare il movimento della cometa alle leggi della gravitazione universale che d'altronde sono generalmente seguite. L'accorciamento dimostrato della durata della rivoluzione sembrò progredire regolarmente col tempo, e avrebbe quindi potuto in conseguenza di ciò venir attribuito al problematico etere cosmico. Ma anche qui la prolungata e costante osservazione dell'astro diede un risultato negativo. Dopo la morte di Encke e di Asten, Backlund assunse il difficile ed anche particolarmente oneroso còmpito di ricalcolare a nuovo tutto il materiale d'osservazione, e trovò finalmente che la cometa deve essere bensì stata influenzata nel senso conosciuto, regolarmente fra il 1819 ed il 1865, ma che frattanto quella misteriosa azione deve essere d'allora in poi repentinamente cessata, od almeno diminuita fino alla metà del suo valore primitivo. Così, ad esempio, quando nel 1881 l'astro riapparve a seconda dei calcoli preventivi, esso si trovò di nuovo indietro di 40 secondi rispetto al luogo preventivamente calcolato coll'aiuto dell'azione empiricamente trovata del mezzo resistente, errore che s'ingrossò ancora notevolmente più tardi, mentre tutto sarebbe andato per il meglio, se dalla sua ultima apparizione si fosse lasciato completamente in disparte il misterioso fattore. Si dovette allora ben concedere che altri ostacoli, agenti solo temporaneamente, si erano opposti a questa e ad altre comete. Così in questi ultimi tempi, la cometa di Faye, che fino allora era degna intieramente di appartenere alla sua specie, ha fatto alcuni salti che non si possono ora chiarire anticipatamente.

Parleremo più tardi della cometa di Brorsen che ha pur destato dei sospetti a questo riguardo.

Non avrebbe però dovuto meravigliare, d'altronde, che non tutte le comete, che poterono essere studiate sotto questo aspetto, avessero mostrato traccie di questa influenza, poichè questa, per la sua istessa natura, è affatto diversa con diversi individui. La resistenza dovrebbe comportarsi all'incirca come il ritardo della caduta di corpi nella nostra aria; ma ognuno sa che una penna cade molto più lentamente di una palla da cannone, mentre però nello spazio privo d'aria, entrambe le cose cadono egualmente rapidamente. Quanto più piccolo è lo spazio occupato dalla massa di un corpo, tanto meno si farà su di esso sentire la resistenza dell'aria. Pertanto, a mezzo dell'osservazione del rallentamento della caduta di un corpo, si potrebbe determinare il suo peso specifico, dal che si può anche facilmente ricavare il peso reale, quando si conosca il volume, o la parte di spazio occupata dal corpo. Siffatti metodi di ricerca, i quali si possono eseguire solo otticamente, cioè senza venire a contatto col corpo da studiare, interessano sempre gli astronomi in alto grado, perchè sotto certe condizioni sono applicabili agli astri. Il fatto che i pianeti non rivelano una tale resistenza della supposta " aria celeste „, si spiega abbastanza col loro peso specifico relativamente grande, che si può con altri mezzi determinare con tutta precisione. Ma poichè anche le comete così insolitamente leggiere, non lasciano riconoscere un tale influsso, così non rimane altra conclusione possibile, se non che quest'etere stesso, nella immediata vicinanza del Sole, è una sostanza per noi infieramente imponderabile, sebbene il concetto degli imponderabili assoluti, sia con tutta ragione sempre più bandito dalla fisica moderna.

Dicemmo pur ora che le comete sono specificamente molto leggiere. Rimandiamo la dimostrazione di ciò, alle discussioni teoretiche nella seconda Sezione di questo libro, per non fare ulteriore incursioni nel campo di essa. Qui si può solo accennare, che si fecero i più vari tentativi per riuscire a determinare la massa delle comete, ma si giunse sempre al risultato, che per i nostri metodi astronomici esse sono imponderabilmente leggiere. Babinet le ha perciò chiamate, molto significativamente, " *des riens visibles* „.

D'altra parte lo spettroscopio ha dimostrato senza contradizione possibile, che questi corpi constano di sostanze che si trovano anche sulla Terra, e che nei nostri laboratori non sono per nulla senza peso. Fu anzi in un caso possibile di scoprire direttamente coll'osservazione qualche cosa sulla densità dei gas circondanti immediatamente il nucleo. La cometa del luglio 1881 porse a ciò per tre sere occasioni molto desiderate, passando affatto vicino ad alcune stelle fisse, che ci mandarono la loro luce attraverso alla massa nebulare del suo corpo. Se i gas che circondano il nucleo si fossero comportati secondo le leggi ottiche constatate nei nostri laboratori di fisica, essi dovevano deviare la luce che li attraversava dal suo cammino rettilineo, poichè sulla Terra non esiste alcuna sostanza così trasparente che non mostri questa azione rifrangente. Ma l'azione di essa dipende per una parte dalla natura della sostanza e per l'altra dalla sua reale densità. Ora per constatare una tale deviazione, se pur si fosse verificata, l'autore fece in quelle tre sere il maggior numero possibile di misure della distanza variabile fra il nucleo della cometa e le stelle fisse coperte. La trattazione numerica di queste

misure, secondo un metodo teorico proposto a questo scopo da G. Cellérier, diede per risultato l'affermazione dell'esistenza di una tale " *rifrazione cometica* „ che diminuiva in ragione quadratica della distanza dal nucleo. Nel rapporto medesimo doveva pertanto diminuire la densità dei gas circondanti il nucleo, il che d'altronde era preventivamente probabile. Poichè anche questa cometa mostrava lo spettro ordinario dei carburi d'idrogeno, così nell'ipotesi che l'involucro consistesse di gas etile, il cui potere rifrangente è noto, si potè determinare che la pressione di esso gas, alla distanza dal nucleo di 10.200 km., era uguale a sette millesimi di un'atmosfera nostra. Nel barometro, sotto questa pressione la colonna di mercurio stabbe alta solo 5 mm. Dalla grandezza apparente poi della testa della cometa, si determinò il volume reale occupato dal suo primo involucro nebulare, ed ancora nella supposizione che essa consistesse di carburi d'idrogeno, si potè trovare un valore approssimato della sua massa, e risultò che 23.000 di queste comete avrebbero formato una sola massa eguale a quella della Terra, 200 eguali a quella della Luna, 120 eguali a quella del primo satellite di Giove. Quantunque tutti i valori qui riportati, in causa dell'inaudita piccolezza della rifrazione della luce risultante dalle osservazioni, possano valere soltanto come grossolane approssimazioni alla verità, tuttavia emerge da ciò che una tale deviazione avviene realmente, mentre ricerche anteriori per constatare qualche cosa sull'azione delle masse delle comete erano rimaste infruttuose. Ma d'altra parte questo risultato dimostra ancora una volta in modo nuovo, che, benchè le comete siano per estensione i più grossi corpi del nostro sistema solare, tuttavia sono così leggermente costituite, che nel concerto delle forze l'una all'altra contrastantisi dell'universo, non hanno alcuna parte notevole. Esse generalmente non hanno influenza sui movimenti dei principali corpi celesti permanenti, per contro spesso vengono da essi a loro volta deviate così notevolmente dal loro cammino, che le loro orbite originariamente paraboliche si convertono in ellittiche, ed esse stesse divengono comete periodiche.

Queste naturalmente meritano il particolare interessamento dell'astronomo, essendo divenute membri stabili del dominio solare. Ma chiamando periodiche tutte le comete ellittiche, esse debbono venir classificate in tre categorie, cioè in comete con ellissi molto grandi, che ritornano al Sole solamente in molte centinaia od anche migliaia d'anni; secondariamente, in quelle di rivoluzione più breve, che però malgrado ciò non si poterono ancora osservare durante un secondo ritorno; e finalmente in comete propriamente periodiche, che a norma del calcolo sono state ripetutamente vedute nella loro vicinanza al Sole. La prima classe forma una transizione, poichè in molti casi è dubbioso quali individui le si debbano ascrivere. Con ellissi molto grandi il calcolo è sempre più incerto, giacchè gli errori inevitabili d'osservazione, moltiplicati sempre per fattori maggiori, agiscono più vigorosamente sulla determinazione della durata della rivoluzione. Noi abbiamo già conosciuto alcuni rappresentanti interessanti di questo gruppo, che furono in pari tempo riconosciuti con sicurezza come ellittici; essi sono le comete del 1807. 1881. 1882, ecc. In generale però a questa specie di comete non si attribuisce maggiore importanza che a quelle paraboliche, delle quali si crede, per ragioni che discuteremo più tardi, che in realtà tutte posseggano ellissi molto allungate, le quali, però, noi non possiamo distinguere da parabole, a causa della brevità del loro

percorso durante il quale ci fu dato di osservarle. Quindi tutte le comete appartengono al nostro sistema solare, e debbono pertanto tutte ritornare periodicamente.

Anche per la seconda categoria è difficile di fissare il limite fino al quale le ellissi vi possono ancora essere comprese. Ma è però molto notevole, che fra questi astri predominino fortemente quelli con rivoluzioni relativamente brevi. Per tanto si hanno moltissime comete che giungono a noi apparentemente dall'infinito, assai poche poi, la cui massima distanza dal Sole, per quanto la si potè calcolare, è notevolmente maggiore dell'ambito dell'orbita di Nettuno, e assai più, la cui orbita intiera giace entro i confini del nostro sistema solare. Inoltre, ricerche più minute hanno messo a giorno il notevolissimo fatto, che quasi tutte le comete appartenenti stabilmente al sistema solare, hanno un punto della loro orbita comune con quella di un pianeta, ossia che ad un dipresso le due curve delle orbite si tagliano. Si conoscono 70 di tali comete, comprendendovi quelle appartenenti all'ultima classe e che furono ripetutamente osservate. Ordinandole secondo le orbite dei pianeti, che hanno con esse un tal punto comune, esse risultano così distribuite:

Mercurio . . .	4 comete	Giove	23 comete
Venere . . .	7 »	Saturno . . .	9 »
Terra	10 »	Urano	8 »
Marte	4 »	Nettuno . . .	5 »

Fino a Giove questi numeri sono, in modo notevole, proporzionali all'incirca alla grossezza del pianeta. Non è d'altronde a meravigliare che al di là di Giove scompaia questo rapporto, quando si pensi che orbite, che si spingono tanto lungi, in gran parte hanno anche la loro massima vicinanza al Sole assai lontana, e quindi non sono più a noi visibili in nessuna parte della loro orbita. Pertanto dal complesso di questi numeri noi siamo in diritto di congetturare che i pianeti possano esercitare una certa influenza sulle comete, così da costringerle a descrivere orbite più strette. Poichè altrimenti non si potrebbe spiegare il fatto che quasi tutte le comete di queste due classi posseggano tali punti d'intersezione. A questa regola si hanno quattro eccezioni, sotto una presupposizione che si può chiarire con altre ragioni. Queste quattro orbite di comete tagliano tutte il piano quasi comune delle orbite dei pianeti ad una distanza di circa 70 distanze solari, quindi a circa più del doppio della lontananza dal centro del sistema, quale spetta al pianeta più esterno, Nettuno. Secondo la regola di Bode già menzionata sulle distanze dei pianeti, potrebbe anche esistere a questa lontananza di 70 unità un pianeta che noi non potremmo più vedere a causa della sua grande lontananza. Queste quattro comete sono appena indizi male interpretabili di un problematico corpo celeste, il pianeta transnettuniano, il quale forse formerà un giorno il capitolo più notevole dell'" Astronomia dell'invisibile „.

Nell'ascrivere la cattura delle comete da parte dei pianeti alla forza di gravitazione universale, noi dobbiamo anche qui anticipare alcune considerazioni su quella forza che affetta tutti i corpi in proporzione della grandezza della loro massa e governa tutti i movimenti dei corpi celesti.

Due corpi cosmici, le cui orbite si tagliano, dopo un certo numero di rivoluzioni, si saranno trovati contemporaneamente in un qualsivoglia dato istante nelle vicinanze di questo punto d'intersezione. Quindi entrambi agiscono l'uno sull'altro

rispettivamente colla propria forza d'attrazione, e quando si conoscano le relazioni di posizione e le masse dei corpi, quest'azione può essere esattamente determinata in natura e grandezza. La teoria diede risultati coincidenti con quelli della nostra statistica, che cioè dovevano verificarsi azioni dei pianeti sulle comete tali da convertire in ellissi le loro orbite simili primitive. Ma ora delle 70 o 74 comete così catturate solamente 17 furono con sicurezza incorporate permanentemente al nostro sistema solare, tutte le altre non furono osservate che una volta sola in vicinanza del Sole. I motivi di ciò son di natura molto differente. A termini del calcolo, un numero ragguardevole di questi astri non poté ancora ritornare dopo l'epoca della scoperta, un certo numero era così debole, o nelle riapparizioni posteriori si accostò alla Terra tanto meno che quando vennero scoperti, che non venne fatto di ritrovarli, sebbene essi abbiano realmente potuto stare al luogo calcolato in prossimità. Per contro ve ne sono fra essi anche alcuni pochi che andarono smarriti in modo non spiegabile, ed altri che non sono ricomparsi a cagione dell'influenza medesima che altra volta li costrinse a circolare in quelle orbite ristrette.

A queste ultime appartiene la cometa di Lexell. Essa fu trovata da Messier il 14 giugno 1770, come un oggetto poco appariscente e non visibile ad occhio nudo. Così essa scomparve anche il 2 ottobre dell'anno medesimo. Ma se l'aspetto della cometa non offrì nulla di notevole, la ricerca teorica della sua orbita, alla quale ripetutamente attesero i più celebri calcolatori di quel tempo e del secolo presente, apportò per contro non poche sorprese. Primieramente Lexell trovò che le osservazioni non si potevano altrimenti rappresentare che con un'ellisse di 5 anni e ½ di rivoluzione, risultato che fino a quell'epoca era affatto unico, perchè allora fra le comete periodiche non era conosciuta che quella di Halley, la quale descrive un'ellisse molto più estesa. Sebbene la teoria non concedesse alcun'altra durata di rivoluzione, tuttavia non ci si poteva decidere a darle retta, giacchè la cometa non era stata veduta nè prima nè dopo, sebbene essa in quell'orbita avesse dovuto accostarsi alla Terra tanto come all'epoca della sua scoperta.

Per scoprire la causa misteriosa di questa completa sparizione, Clausen, Leverrier, Brünnow, hanno, fra altri, istituiti dei calcoli estesi, dei quali quelli dell'investigatore francese, al cui talento di calcolatore noi dobbiamo la scoperta di Nettuno, sono capolavori di computo astronomico. Da queste risultò che la cometa, 3 anni prima della sua scoperta, cioè nel 1767, era passata molto vicino a Giove, quasi scivolando assai probabilmente attraverso al sistema dei satelliti di Giove, ed andò così soggetta a perturbazioni del suo corso così notevoli, che la sua orbita originariamente molto più estesa, e percorrendo la quale essa non poteva venire tanto vicina alla Terra da essere scoperta, era stata mutata nella piccola ellisse realmente calcolata. Dopochè il nuovo corpo celeste catturato era probabilmente lungo la sua nuova orbita ritornato al Sole di nuovo nel 1775, senza venire avvertito da noi, esso venne forse nel 1779 straordinariamente vicino a Giove, e questa volta, come si può con tutta sicurezza dimostrare a mezzo del calcolo, le perturbazioni furono di tal natura che il loro effetto fu l'opposto di quello del 1767, e la cometa venne lanciata sopra una grande ellisse per la seconda volta, e quindi fuori del più immediato dominio della Terra. Anche a quest'ultima la cometa s'accostò più di alcun'altra. La sua distanza da noi il 1° luglio 1770 ammontava a soli 363 raggi terrestri, ossia il sestuplo della distanza della Luna. Si potè calcolare che se la cometa

avesse avuto la stessa forza d'attrazione della Terra, questa avrebbe dovuto avere il suo movimento così perturbato, che la durata della sua rivoluzione attorno al Sole, ossia la lunghezza dell'anno, avrebbe dovuto cambiare di 3 ore. Ora poiche nessuna variazione affatto si verificò, e ponendo mente a ciò che una variazione di più di due secondi in questa lunghezza avrebbe dovuto venir subito scoperta, così si potè dimostrare che la cometa in nessuna condizione possedette più della cinquemillesima parte della forza d'attrazione della nostra Terra, anzi probabilmente ancora molto meno. Alla conclusione medesima condusse anche il fatto che la cometa nella sua duplice visita al sistema di Giove, non cagionò la benchè minima variazione, avvertibile coi nostri mezzi, nei movimenti dei quattro satelliti di quel pianeta. Anche altre comete subirono simili avvicinamenti; così la cometa di Brooks del 16 luglio 1886 rasentò quasi la superficie di Giove.

Diciasette di quelle comete catturate furono poi, a termini del calcolo, osservate in varî ritorni al Sole, tuttavia non a tutte si potè intieramente tener dietro. La più famosa, e per quanto si sa, la più antica fra le comete realmente periodiche, è quella di Halley, già parecchie volte menzionata. Fra gli astri di questa classe, essa ha la massima durata di rivoluzione (76 anni ed $^1/_3$), e fra essi è di gran lunga la più ragguardevole e la più lucida. Essa si distingue poi da tutte quelle della sua specie, inquantochè si muove in direzione opposta a quella dei pianeti. Molte comete ordinarie sono bensì dotate di un tal movimento retrogrado, ma fra le comete periodiche non se ne trovano altre. L'astro s'accosta al Sole fino a qualche cosa più della metà della nostra distanza dal Sole: per contro all'" afelio „, sua massima lontananza dal Sole, dista da esso di 35,4 semidiametri dell'orbita terrestre, si discosta quindi fin'oltre l'orbita di Nettuno.

Halley trovò per il primo la periodicità di questa cometa, quando egli intraprese, pure per il primo, a calcolare l'orbita di 24 comete colle formole date da Newton. Egli riconobbe così che l'orbita della cometa apparsa poco tempo prima, nel 1682, era così simile a quelle delle comete del 1607 e 1531, fra le quali epoche intercedevano eguali intervalli di tempo, che non si poteva più dubitare dell'identità di quelle apparizioni. Poichè una cometa che abbia una coda lunga 20 gradi, può essere molto bene veduta ad occhio nudo, così a ciascuno dei suoi ritorni l'attenzione fu richiamata ad essa; e questi ritorni si possono senza lacune seguire con sicurezza fino all'anno 12 a. C. Dopo l'apparizione del 1682, i calcolatori si proposero di predire esattamente la prossima venuta dell'astro. Clairaut, che a 18 anni era già membro dell'Accademia di Parigi, attese per ben un anno al lungo e faticoso calcolo, sebbene vi fosse molto aiutato dalla signora Lepaute, moglie di un famoso orologiaio di quei tempi, che così si è assicurata un nome durevole nella storia dei calcoli dell'astronomia. Il 14 novembre 1758, solo 5 mesi prima del ritorno della cometa, Clairaut poteva presentare all'Accademia il risultato del comune lavoro che prediceva con un mese d'incertezza il passaggio dell'astro al punto della sua orbita più vicino al Sole per il 13 aprile 1759. Il contadino Palitzsch in Prohlitz presso Dresda, al pari dei due precedentemente nominati, un'intelligenza rara, del quale Herschel dice nelle sue *Outlines*: " Un contadino per condizione, un astronomo per natura „, trovò la cometa dopo ricerche sistematiche che si erano specialmente raccomandate per quest'astro, la notte di Natale del 1758; ed il suo ulteriore percorso mostrò, che esso aveva raggiunto la

sua massima vicinanza al Sole il 12 marzo 1759, epoca quindi differente dal passaggio al perielio determinato teoricamente non di più di quel mese preannunziato dal calcolo. La nuova apparizione diede al calcolo preventivo della comparsa da aspettarsi pel 1835, molto migliori fondamenti, così che questa volta si ebbe la soddisfazione di una coincidenza quasi completa fra il calcolo e l'osservazione. Il calcolo fu istituito indipendentemente da varie parti. S'accostò più d'ogni altro al vero Pontécoulant, che diede il ritorno al perielio per il 15 novembre, un giorno solo troppo presto. I calcoli di Rosenberg si scostarono di 5 giorni nel medesimo senso. La cometa fu veduta per la prima volta il 6 agosto di quell'anno da Dumouchel, all'Osservatorio pontificio in Roma. In presenza della grande puntualità colla quale quest'astro interessante seguì la teoria, appena è più possibile dubitare che esso, secondo la predizione di Pontécoulant, ritorni alla sua massima vicinanza al Sole il 17 maggio 1910. Questo è il solo caso nel quale gli astronomi possono predire la comparsa di una cometa visibile a tutti, colla stessa sicurezza colla quale annunziano l'avvenimento di un'eclisse.

Fino al 1884 la cometa di Halley era fra quelle periodiche la sola, che avesse una durata di rivoluzione così grande, di circa 70 anni. Ma nell'ultimo anno accennato un altro astro di tal natura passò per il punto della sua orbita più vicino al Sole, bensì nel modo atteso, ma di gran lunga meno puntualmente che la cometa di Halley. Si fu la cometa telescopica scoperta da Pons nel 1812, la cui periodicità fu riconosciuta per il primo da Encke, che in conformità di ciò ne predisse il ritorno per l'anno 1883. Più tardi i calcolatori astronomici parigini Schulhof e Bossert ripeterono il calcolo, che pubblicarono in un poderoso volume ripieno di cifre, che doveva servire solamente a facilitare il ritrovamento dell'astro. Ma il 1° settembre 1883 il cercatore di comete americano Brooks, trovò accidentalmente una nebulosa che si muoveva e che si chiarì più tardi, a mezzo del calcolo, essere la cometa cercata. L'astro s'accostò questa volta alla Terra alquanto più che nel 1812, e potè perciò essere per qualche tempo visibile ad occhio nudo; rimase tuttavia sempre poco ragguardevole. Esso giunse 9 mesi più tardi di quello che aveva predetto Encke, e 7 mesi più presto di quanto avevano calcolato i parigini. Questa coincidenza difettosa deve nel caso precedente attribuirsi alle incertezze delle osservazioni introdotte nel calcolo, così che il suo terzo ritorno nell'anno 1954, certo coinciderà meglio. Questa cometa può accostarsi al Sole fino a $0{,}_{775}$ dell'unità astronomica, cioè qualche cosa più di Venere, e se ne discosta fino a $33{,}_{67}$; la sua orbita pertanto si estende al pari di quella della cometa di Halley, sempre ancora alquanto oltre l'orbita di Nettuno.

A queste due comete, tre anni più tardi se ne aggiunse ancora una terza, che fu vista per la prima volta da Olbers in Brema il 6 marzo 1815, e quindi riconosciuta come periodica con una rivoluzione di 74 anni da Bessel e Gauss. Ginzel istituì la trattazione più completa, e trovò per quest'astro una rivoluzione che in causa dell'incertezza delle osservazioni oscillava fra $72{,}_3$ e $75{,}_7$ anni. Dopoché l'astro fu invano a lungo cercato, Brooks lo ritrovò il 24 agosto 1887, ed il calcolo fornì una rivoluzione di $72{,}_5$ anni, che così sta sotto il limite dell'incertezza ammessa. La cometa è da attendersi, in base a ciò, nel 1960. La sua minima distanza dal Sole è $1{,}_2$ volte la nostra, quella massima quasi uguale a quella della precedente cometa (V. tavola: *Comete lucenti con coda*, fig. *d*, pag. 222).

La tabella delle comete periodiche qui sotto riportata presenta un gran vuoto rispetto alle rivoluzioni; la maggiore più prossima, sale solo a 13,76 anni ed appartiene alla cometa di Tuttle. Egli la scoprì il 4 gennaio 1858, e con un calcolo preliminare dell'orbita riconobbe subito che essa doveva essere identica con una cometa veduta da Méchain nel 1790. Così poi si trovò essere in realtà accaduto, che in quel lasso di tempo l'astro era ritornato quattro volte al Sole, ma che in causa della sua piccolezza era passato inosservato. I calcoli di Tischler diedero poi per epoca del prossimo passaggio al perielio la notte del 1° dicembre 1871, mentre esso avvenne realmente nelle ore del mattino del 2. Il secondo calcolo di predizione di Rahl in Königsberg, per l'11 dicembre 1885, s'accordò ancora più da vicino colla verità.

Le rimanenti tredici comete periodiche appartengono tutte ad una e medesima famiglia, quella di Giove: cioè esse furono rese membri permanenti del sistema solare dalla sua influenza. Nella figura 120, sulla quale sono segnate tutte le orbite delle comete di questa famiglia, anche di quelle delle quali fu osservata una sola apparizione, noi vediamo subito che solo poche fra esse oltrepassano di molto l'orbita di Giove; che quella osservata da Denning solo una volta nel 1881, al più raggiunge questo limite; che quella di Encke è quella che s'accosta di più al Sole e che possiede la più ristretta fra le ellissi cometarie. La tavola seguente registra le tredici comete di questo gruppo, ripetutamente osservate.

Nome	Ultimo passaggio al perielio		Durata della rivoluzione in anni	Distanza dal Sole		Numero dei ritorni
	Anno	Mese, giorno		minima	massima	
Faye	1895	. . . . .	7,56	1,788	5,970	8
Brooks	1896	Novembre 4	7,10	1,959	5,427	2
Wolf	1891	Settembre 3	6,82	1,593	5,601	2
D'Arrest	1890	Settembre 17	6,69	1,324	5,778	5
Finlay	1893	Luglio 12	6,63	0,989	6,064	2
Biela	1852	Settembre 24	6,60	0,880	6,187	6
Tempel I	1879	Maggio 7	6,51	2,073	4,897	3
De Vico-E. Swift	1894	Ottobre 12	5,86	1,992	5,111	3
Winnecke	1892	Luglio 1	5,82	0,886	5,583	6
Tempel-L. Swift	1891	Novembre 15	5,53	1,087	5,171	3
Brorsen	1879	Marzo 31	5,46	0,588	5,610	5
Tempel II	1894	Aprile 23	5,22	1,351	4,666	3
Encke	1895	Febbraio 5	3,30	0,341	4,095	27

La maggior parte di queste comete, dall'epoca della loro scoperta, sono tornate puntualmente, nei limiti ben inteso dell'incertezza che il calcolo indicava come da aspettarsi.

Quello che a questo riguardo era restrittivo e da menzionarsi, circa la cometa di Encke fu già detto. Oppolzer in Vienna credette di poter scoprire anche per la cometa di Winnecke una resistenza dell'etere cosmico, al pari di Möller in Lund (Svezia) per quella di Faye. Ma le due supposizioni non si poterono ulteriormente sostenere.

Però due comete di questa lista, che per un lungo tempo ritornarono regolarmente, sono di poi sparite: quelle di Biela e di Brorsen. L'ultima fu scoperta

da Brorsen in Kiel il 26 febbraio 1846. Essa era una cometa telescopica di luce abbastanza debole. Brünnow e D'Arrest riconobbero subito la sua periodicità, e fissarono il suo prossimo passaggio al perielio per il 26 settembre 1851. Ma in quell'anno essa non fu ritrovata, a dire però il vero non fu neppure cercata con troppo zelo. Ma Bruhns la scoprì di nuovo il 18 marzo 1857, ed a mezzo del cal-

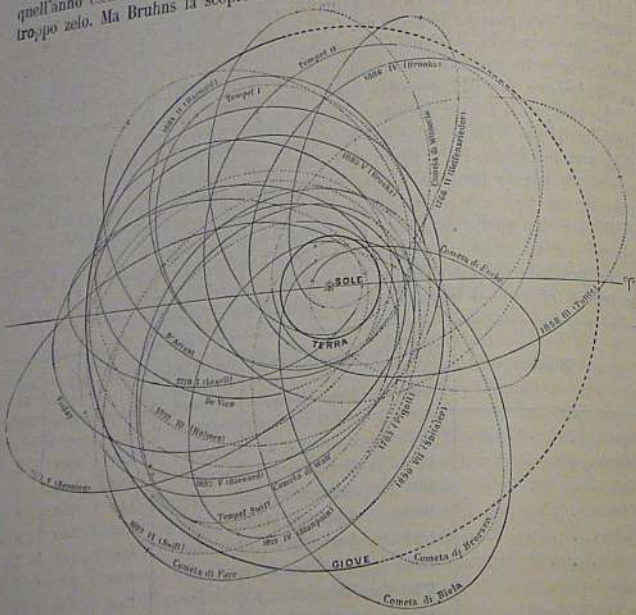


Fig. 120. — La famiglia delle comete di Giove.

colo riconobbe la sua identità coll'apparizione del 1846. Il prossimo massimo avvicinamento al Sole doveva avvenire il 12 ottobre 1862, ma neppure questa volta la cometa fu trovata, il che ancora non era difficile avvenisse, perchè l'attenzione degli astronomi su di essa non era stata richiamata in modo particolare. Ma ora si tien dietro meglio e più regolarmente alle comete periodiche col calcolo e coll'osservazione, e Bruhns si assunse questa cura per l'astro di Brorsen. I suoi calcoli assegnano al passaggio al perielio il 18 aprile 1868. Dopochè venne fatto di ritrovarlo a Schmidt in Atene, ed a Bruhns stesso, rispettivamente l'11 ed il 12 aprile, il calcolo risultò esatto fino ad un giorno, chè di tanto l'astro aveva anticipato il suo ritorno al Sole. Del pari ritornò esso nel 1873 e 1879, ma allora fu scoperto il fatto notevole che la durata della rivoluzione ricavata dalle apparizioni del 1868 e 1873, non poteva venir fatta concordare con quella ricavata da questi ultimi ritorni e da quello del 1879. A questo riguardo furono istituiti calcoli estesi

da Schulze in Döbeln (Sassonia) e da Lamp in Kiel, che dimostrarono un ritardo della cometa che è contrario all'azione di quel problematico mezzo resistente. L'influenza di esso accosta incondizionatamente i corpi al Sole, mentre la cometa di Brorsen si allontanò da esso. La cometa doveva ritornare nell'anno 1884, tuttavia non si presentò alla Terra in alcuna posizione conveniente, e, o per questa o per altre ragioni, non fu trovata. Ma molto più favorevole fu nel 1890 la posizione della cometa, e per fermo la più favorevole fra tutte le sue apparizioni, ad eccezione di quella della scoperta nel 1846. Le condizioni di posizione erano tuttavia migliori a quel tempo, poichè Schmidt in Atene l'aveva veduta per un lungo tempo ad occhio nudo. Tuttavia, malgrado la zelante ricerca con istrumenti che erano di gran lunga superiori a quelli impiegati nelle precedenti apparizioni, l'astro non fu trovato. Fra gli altri Barnard, col cannocchiale di 12 pollici dell'Osservatorio Lick si diede a scrutare entro limiti molto estesi la posizione fissata per la cometa, in modo che un errore teorico non spiegabile anche del centuplo dell'incertezza presupposta, non avrebbe impedito il ritrovamento. In simil modo si diedero attorno Renz in Pulkowa presso Pietroburgo con un istrumento di 15 pollici, e Spitaler in Vienna con quello potente di 20 pollici. Ma la cometa rimase invisibile.

Per questa strana scomparsa si possono trovare solo due spiegazioni: o la cometa ha patito una qualunque perturbazione incognita, che la deviò completamente dalla sua strada, così che essa non potè più accostarsi alla Terra; ovvero la sua lucidità è diminuita in tal guisa, che benchè percorresse la prefissa via, essa divenne anche per i più potenti istrumenti d'oggi troppo debole di luce. Si possono addurre argomenti in favore di entrambe le supposizioni. Tutti gli osservatori si sono meravigliati delle fluttuazioni di luce e dei cambiamenti di dimensioni, inusitati per una cometa telescopica, di questo astro di Brorsen. Esso si presentò come una sbiadita massa nebulare, con una condensazione appena avvertibile verso il suo centro, che al suo accostarsi al Sole aumentò rapidamente di splendore, ma che dopo impallidì ancora più rapidamente, e con ciò andò diffondendosi. Le masse nebulose della chioma andarono apparentemente diminuendo d'assai in densità, e poi lasciarono spesso luccicare uno o più punticini luminosi, dei quali prima nulla si vedeva. Anche ad un ritorno osservato subito dopo, la cometa mostrò variazioni di luce che non si possono spiegare unicamente colla mutata posizione. Schmidt, parlando di questa cometa, dice che in nessuna delle 50 comete da lui osservate fino a quel tempo, egli avvertì dopo il perielio una così repentina variazione di luce, come in essa. Noi possiamo pertanto ben ammettere, che nell'interno di questa cometa avvengono delle cose speciali, che potrebbero anche spiegare la sparizione completa. Lamp propende per questa opinione e crede che emissioni, le quali a dire il vero non furono constatate su questa cometa, ma che tuttavia possono bensì verificarsi, possono aver causato le oscillazioni di luce e l'allungamento della durata della sua rivoluzione del quale tenemmo già discorso. Quando la cometa in queste emissioni perde materia, la quale si perde nello spazio, alla perdita deve necessariamente andar accompagnato un contraccolpo, come si osserva avvenire in tutte le emissioni di acqua, vapore, elettricità, ecc. Se ora l'emissione si verifica in direzione del Sole, come suolsi osservare nelle comete, allora la reazione deve manifestarsi in quel senso che è indicato dal rallentamento dell'astro di Brorsen.

Ma anche l'intervento di altre cagioni di perturbazione straordinariamente grandi, può divenire probabile nel caso precedente. Si noti che l'orbita viene ad essere assai vicina tanto a quella di Venere, come a quella di Giove, ed anche di alcuni piccoli pianeti. Da ciò segue la probabilità, che anche i corpi stessi, che descrivono queste orbite, possano occasionalmente venire a trovarsi vicini alla cometa. Con Giove, ad esempio, ciò avvenne, come è indicato dal calcolo, quattro anni prima della scoperta della cometa, il 27 maggio 1842, nel qual giorno la mutua distanza fu di 0,055 unità, ossia di 8 millioni di km. Naturalmente gli effetti dell'attrazione, che si manifestano in una tale prossimità, vengono posti a calcolo il più esattamente possibile. Ma pur troppo qui rimangono grandi incertezze, delle quali terremo parola nella seconda Sezione; inoltre noi vedremo in seguito che nello spazio cosmico esistono aggregati di masse, che a noi divengono visibili solo in circostanze straordinarie, e che possono modificare notevolmente il corso d'una cometa quando questo passi loro vicino. L'avvenire solo permetterà di decidere fra queste possibilità, le quali però possono in date circostanze avere entrambe agito.

L'istoria della cometa di Biela, scomparsa del pari, del che accidentalmente si potè conoscere alquanto più esattamente la ragione, getta una luce interessante sulle circostanze che possono aver causato una simile scomparsa anche della cometa della quale venimmo discorrendo finora. La cometa telescopica fu veduta per la prima volta nel 1772, senza aver nulla di rimarchevole, poi fu di nuovo scoperta da Pons il 10 novembre 1805, e, dopochè l'orbita di quest'ultima apparizione era stata fra gli altri calcolata anche da Bessel e Gauss, riconosciuta identica con quella del 1772. Se la durata di rivoluzione di 6 anni e $^1/_2$ dell'elisse trovata con quei calcoli era giusta, la cometa doveva ritornare al Sole nel 1826. Ciò era noto al capitano austriaco von Biela, che allora si trovava di guarnigione a Josefstadt in Boemia, e che si diede a far con grandissimo zelo ricerca del nuovo ospite atteso; si dice, anzi, che avesse anche insegnato alle sue sentinelle a ricercarlo. Il suo zelo fu coronato da un bel successo, poichè egli il 27 febbraio del 1826 trovò quell'astro che doveva poi divenire così famoso. Lo scopritore stesso calcolò la prima orbita per la nuova apparizione e pose così in saldo indubbiamente l'identità. Indipendentemente da lui, il cercatore francese di comete Gambart, scoprì il medesimo astro in Marsiglia, dieci giorni più tardi, però affatto casualmente e senza cercarlo, e ne calcolò quindi l'orbita. Perciò i Francesi, fino a poco tempo fa, contro ogni ragione, designarono la cometa col nome di Gambart. A termini del calcolo essa riapparve per la prima volta nel 1832, e, a dire il vero, con discreta puntualità; ma di poi essa suscitò nel mondo non piccola agitazione. Il calcolo aveva indicato che l'orbita di questa cometa attraversava quasi esattamente l'orbita terrestre. Ora se questi due corpi celesti fossero venuti a trovarsi contemporaneamente in questo punto d'intersezione, un urto era inevitabile nell'incontro e, segnatamente nella grande ignoranza in cui si era allora sulla natura delle comete, da un tal cozzo non si poteva aspettare altro che la fine del mondo. La superstizione delle comete, considerata al principio di questo Capitolo, si era bensì da lungo tempo ritirata di fronte alla paura di un incontro e del conseguente urto, ma doveva pur troppo rifarsi viva un'altra volta nel 1773, in occasione che il celebre Lalande voleva leggere all'Accademia uno scritto sulle comete che si possono avvicinare alla Terra; in causa di essa Parigi intiera era

stata spaventata. Si era allora sparsa, non si sa come, la voce che la polizia avesse vietato all'accademico di fare quella lettura, perchè egli intendeva predire per il 12 maggio di quell'anno la fine del mondo causata dall'urto contro una cometa. Sebbene non potesse neppure alla lontana trattarsi di ciò, come fu dimostrato dalla pronta pubblicazione del lavoro di Lalande, tuttavia gli animi non si poterono quietare. " Questa sola diceria valse a diffondere un tale timore panico, che non solo tutta Parigi imprecava a questo giorno, ma in causa della paura si verificarono parti prematuri, morti casuali, ecc., e sacerdoti indegni, che per grosse somme di denaro vendevano l'assoluzione, fecero i migliori affari „ (Wolf, *Storia dell'Astronomia*). Laplace stesso, il grande geometra, non potè da parte sua trattenersi dal tratteggiare coi più foschi colori le conseguenze di una tale catastrofe. Egli scrive: " Lo spavento che a suo tempo incuteva l'apparire di una cometa, ha ceduto il posto al timore, che fra il gran numero di quelle che in ogni direzione attraversano il sistema planetario, potesse probabilmente trovarsene una, che potesse scontrarsi colla Terra, ed è in realtà facile il rappresentarsi le conseguenze di un simile incontro. L'asse di rotazione della Terra ed il suo movimento di rotazione ne sarebbero cambiati, i mari abbandonerebbero il loro fondo attuale per rovesciarsi verso il nuovo equatore; gli uomini e gli animali perirebbero annegati da questo diluvio universale, quando essi non fossero prima stati distrutti dall'urto potente subito dalla Terra. Se la massa della cometa che produce l'urto fosse paragonabile con quella della Terra, intiere razze sarebbero spente, e distrutti i monumenti dell'intelligenza umana „.

Sebbene quest'aggiunta della massa paragonabile a quella della Terra, dovesse già anche allora agire sugli astronomi in modo insolitamente tranquillizzante, poichè la tenuità della massa delle comete, era già allora fuori di dubbio, tuttavia molti non vogliono prestar fede a tali risultati teorici, finchè non si presenti loro una dimostrazione tangibile. Era sempre possibile, malgrado tutto, che una massa, che astronomicamente era piccola così da non poter essere determinata, come una sfera di pietra di un chilometro di diametro, che si precipitasse contro il pianeta che ci alberga con una velocità di parecchi chilometri al minuto secondo, potesse cagionare una catastrofe mondiale per la natura vivente di esso, quantunque un tale avvenimento potesse non avere alcuna azione avvertibile nella vicenda dei movimenti celesti. Un tal corpo poi potrebbe anche, senza neppur venire a contatto immediato colla Terra, passando solo rasente ad essa, sollevare colla sua attrazione il mare siffattamente, che l'immane fiotto che trascinerebbe dietro di sè, dovrebbe produrre sulla Terra il diluvio universale.

Olbers in Brema, l'astronomo più competente dei suoi tempi in fatto di comete, in occasione del ritorno della cometa di Biela da aspettarsi pel 1832, aveva dimostrato che essa doveva il 29 ottobre di quell'anno passare così vicino alla Terra, che il suo involucro nebuloso sarebbe stato attraversato da questa. In ogni caso la cometa, venendo contemporaneamente colla Terra a questo punto d'incontro, si sarebbe trovata almeno trenta volte più vicino ad essa della Luna. La gente divenuta cieca per paura o per smania di emozioni, trascurò naturalmente anche quest'ultima proposizione, la quale enunciava chiaramente il fatto, che benchè le orbite di quei due corpi venissero a passare tanto vicino l'una all'altra, tuttavia la Terra coi suoi ansiosi abitatori, in quell'istante medesimo nel quale la cometa passava per il

luogo pericoloso, sarebbe distante da questa di ben 11 milioni di miglia tedesche (km. 83.000.000). Costò molta fatica il prevenire aberrazioni come quelle sopra descritte. In questo senso ha agito molto inspirando tranquillità uno scritto del geniale J. J. v. Littrow, allora direttore dell'Osservatorio di Vienna. Da questo scritto è tratto anche il disegno (V. fig. 121) dell'orbita della nostra cometa e di quelle della Terra e della cometa di Encke; da esso vediamo che anche le orbite delle due comete nominate hanno un punto comune, nel quale potrebbero venire ad urtarsi. Littrow così scrive. " Se lo scontro delle due comete dovesse succedere verso la metà del nostro ottobre, allora noi potremmo coi cannocchiali od anche ad occhio nudo assistere allo spettacolo, non mai veduto, della lotta e probabilmente della distruzione dei due corpi celesti. Per quanto quella vista potesse essere interessante anche per molti di noi, tuttavia la massima parte, secondo la moda del buon tempo antico se ne curerebbe assai poco, come di cosa che si passa tanto lontano, anche se essa dovesse costare la vita a milioni di esseri e preparare la fine di un mondo intiero, a condizione però che essi stessero bene, e non avessero a paventare alcun pericolo, per il loro dolcissimo Io. Ma che cosa avverrebbe della loro decantata impassibilità, se si dicesse loro che la stessa cometa potrebbe anche riuscir loro pericolosa, e svegliarli dal placido loro sonno in modo assai poco garbato? „ Littrow mostrò inoltre, che il punto d'intersezione delle orbite della Terra e della cometa di Biela (segnato con *a* nella figura), viene dalla prima passato tutti gli anni al 30 novembre, ma che qui l'urto è solamente possibile quando la cometa tocchi in un 28 settembre la sua massima prossimità al Sole. Ma questo fatto si verifica solo una volta ogni 2500 anni, come risulta da un semplice calcolo delle probabilità. Questa condizione sarà ad un dipresso soddisfatta per la prima prossima volta nel 1933.

Come si doveva pur aspettarsi, l'anno 1832 trascorse senza alcuna perturbazione, e la cometa si allontanò di nuovo da noi, con corso perfettamente regolare e progressivo. Nel suo prossimo ritorno, essa non potè venir osservata in causa della sua posizione troppo sfavorevole; per contro riapparve nel 1845, e destò negli astronomi non poca meraviglia, col dividersi in due quasi davanti ai loro occhi. La cometa fu, come già altre volte, veduta per la prima volta in Roma e Berlino il 26 e 28 novembre; alla fine di dicembre si osservava già un raro allungamento della sua forma; Maury in Washington la vide biforcarsi il 13 gennaio 1846, ed il 27 gennaio D'Arrest riconobbe distintamente due teste e due code parallele, come rappresenta la figura *g* della tavola *Teste di comete*, a pag. 233. Le due comete procedettero poi tranquillamente l'una accanto all'altra, però così, che la seconda cometa originariamente molto più piccola, si faceva sempre più grossa, mentre l'altra diminuiva, come se il nuovo nato assorbisse lentamente il corpo che lo aveva prodotto. Ma con ciò entrambe rimasero circondate da una debole massa nebulosa comune. Così ritornarono esse al Sole nel 1852; solo allora la distanza delle due comete era divenuta considerevolmente maggiore. Anche questa volta le comete variarono in modo notevole il rapporto dei loro splendori.

Il curioso astro doppio fu veduto per l'ultima volta in Pulkowa il 28 dicembre del 1852. D'allora in poi è scomparso. Nel ritorno successivo del 1859 la posizione era sfavorevole, ma nel 1865-66 le condizioni erano molto migliori, e malgrado ciò, esso fu a lungo inutilmente cercato. In presenza dell'insuccesso non rimase altro

a fare che ritenere che la cometa con ulteriori scissioni si fosse indebolita di soverchio per poter venir scorta, giacchè a dire il vero, già nel 1852 le due parti erano di luce molto debole; e fu perciò dichiarata svanita una volta per sempre.

Ma precisamente nel 1872 il meraviglioso astro smarrito ricordò la sua esistenza con un magnifico fuoco d'artifizio, che illuminò il cielo notturno in quel giorno, in cui la Terra passa ogni anno per il punto d'incontro delle due orbite, e che dai tempi di Littrow si era spostato dal 30 al 27 novembre. Una pioggia di stelle cadenti, quale non era mai stata vista prima, destò la meraviglia di tutti; e fu bene che allora ancora nessuno sapesse che il paventato avvenimento di uno scontro con una parte almeno della cometa di Biela si era manifestato a mezzo di questo meraviglioso fenomeno; il diletto si sarebbe forse mutato, anche in questo secolo di lumi, in timore ed in orrore.

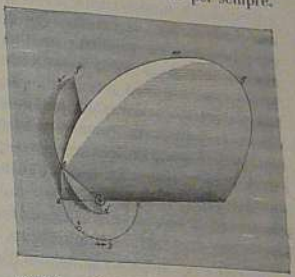


Fig. 121. — Posizioni delle orbite della Terra, della cometa di Biela e della cometa di Encke: *a*, *b*, *c*, orbita della Terra; *a*, *e*, *g* orbita della cometa di Biela; *d*, *e*, *f*, orbita della cometa di Encke.

La questione che fu sollevata appunto in occasione di questo notevolissimo avvenimento della dipendenza fra le comete e le stelle cadenti, ci obbliga ora a rivolgerci senz'altro a queste ultime, prima di riunire in un quadro d'assieme le cognizioni acquistate sulle comete.

11. — Le meteore cosmiche e la costituzione fisica delle Comete.

Dalla maestosa quiete degli avvenimenti celesti, ancora più del mostrarsi di una cometa, differisce l'apparire di una stella cadente che d'improvviso s'accende, o il brillare di un bolide, od il precipitare dall'alto del cielo sereno di una pietra meteorica, accompagnato quasi sempre come da un fragore di tuono. Noi dobbiamo quindi meravigliarci di ciò, che questi fenomeni siano stati per molto più lungo tempo ancora delle comete, considerati come cose terrestri, e la loro origine trovata nella nostra atmosfera o nei nostri vulcani. Essi si presentavano infatti nella nostra atmosfera, come fu poi confermato da ricerche posteriori rigorose, in opposizione a quanto noi sappiamo intorno alle comete.

Cento anni fa, anche il più diffuso trattato di astronomia non avrebbe contenuto una parola intorno all'argomento che ci occupa. Nel libro di Bode intitolato *Introduzione alla conoscenza del cielo stellato*, nell'edizione apparsa nel 1823, che fu allora riconosciuta come un eccellente lavoro, noi troviamo dedicate a queste apparizioni aeree due sole pagine, il cui contenuto si può riassumere nella seguente citazione. " Le stelle cadenti devono originarsi sopra tutte le nubi e nelle più eccelse regioni dell'aria: quando lassù una miscela di sottili parti combustibili viene rapidamente accesa dall'elettricità dell'aria o da una scomposizione

o fermentazione chimica, e quindi precipitata verticalmente... Il così detto drago tirante, la capra saltellante, il trave ardente, e le altre meteore luminose, hanno presumibilmente in parte l'identica natura e costituzione delle pietre cadenti, e da queste si differenziano solo per la grandezza e la figura; in parte esse possono anche constare di vapori vischiosi e torbidi dell'aria infima, che per una reazione della loro sostanza primitiva emettono una luce fosforica, e sono dal vento mossi in ogni maniera di moto e conformati in figure svariatissime... Talvolta anche queste apparenze non sono realmente meteore, ma sono prodotte da certi insetti luminosi che spesso durante la notte vanno volando intorno intorno. Durante la notte vedonsi anche talvolta correre rapidamente attraverso all'aria delle sfere splendenti o di fuoco... La loro velocità supera d'assai quella di una palla da cannone. Perciò i nuovi ricercatori hanno abbandonato l'opinione di ricercarne ancora l'origine dai vapori della nostra atmosfera, e le ritengono (come già altra volta Halley) per certe particelle, che in virtù della forza dell'attrazione universale si accumulano talvolta qua e colà nello spazio cosmico, e che la Terra incontra nel suo cammino „.

Oggi ci deve stupire, che uomini d'altronde pieni d'intelligenza ed anzi intiere accademie scientifiche si siano per lungo tempo opposte ad una più penetrante disamina della questione se questi fatti verificantisi all'apparenza nel nostro involucro aereo, non potessero tuttavia avere la loro origine nello spazio cosmico. Ad esempio Stütz, direttore del Museo di storia naturale di Vienna (che oggi possiede la più ricca raccolta di pietre meteoriche del mondo), nel 1790 dichiarava che nella metà del suo medesimo secolo si potevano ben trovare " teste illuminate „, che credevano realmente nella favola che potessero cadere dal cielo delle pietre, ma che al suo tempo nessun naturalista doveva più ammettere ciò. Però, quando nell'anno medesimo in Guascogna cadde, davanti a 300 testimoni oculari, una pietra dal cielo, e ne fu fatta comunicazione ufficiale all'Accademia di Francia, il noto fisico Berthelon scrisse letteralmente: " Non è essa assai triste cosa il vedere un Municipio intiero dar con un protocollo fede in tutta forma alle dicerie del volgo, che sarebbero solo da compatire! Che cosa debbo io ancora aggiungere ad un tal protocollo? Tutti i commenti si presentano da sè al lettore filosofico, quando egli legge questa testimonianza autentica di un fatto evidentemente falso, di un fenomeno fisico impossibile „. Era d'altra parte cosa dura, il credere alla caduta dall'aria di pietre pesanti, quando non si era stati testimoni oculari di un cosifatto prodigio, e si comprende pure come non si volesse attribuire credito a queste pietre. Si racconta che una pietra caduta in Ungheria il 7 settembre 1514, e che pesava 250 libre, fu in una chiesa avvinta in catene ribadite, affinchè non potesse più volarsene via.

Di riscontro a quelle idee così unilaterali ed in così grossolano contrasto colla forza persuasiva dei fatti, giova il menzionare qui che già nell'antichità greca erano state esposte delle giuste vedute intorno a questi fenomeni. Così vuolsi che nel 465 a. C. Anassagora esprimesse l'opinione che un meteorite allora caduto provenisse dal Sole; e Plutarco disse: " Secondo l'opinione di alcuni fisici le stelle cadenti non sono getti od emanazioni del fuoco etereo che splende nell'aria immediatamente dopo l'accensione, e neppure una combustione od un ardore dell'aria che si è raccolta in grande quantità nelle regioni superiori; esse sono molto più una caduta di corpi celesti, di tal fatta, che essi per una certa trascuranza della forza centrifuga e

per l'impeto di un movimento irregolare vengono precipitati, non solamente verso la Terra abitata, ma anche fuori nel gran mare, per il che essi poi non si trovano „.

Fra le più famose cadute di pietre dei tempi andati, che furono descritte conformemente all'avvenimento e che quindi avrebbero dovuto dare occasione ad una più penetrante disamina del fenomeno, appartiene quella di Ensisheim. La pietra fu murata nella chiesa del luogo ove essa si trova ancora oggidì; una tavola colà appesa descrive la caduta della pietra. Noi riproduciamo parzialmente il suo contenuto, perchè esso descrive bene il fenomeno tipico di una caduta di pietre, e nello stesso tempo dà una prova dell'imbarazzo nel quale furono posti i dotti da un tale avvenimento. La narrazione così suona: " Nell'anno del Signore 1492, nel settimo giorno di novembre, il mercoledì immediatamente anteriore a San Martino, avvenne un raro prodigio. Poichè fra l'undicesima e dodicesima ora a mezzodì rumoreggiò uno scroscio di tuono ed un lungo fragore, che fu udito in lungo e in largo tutt'all'intorno, dall'aria cadde una pietra presso Ensisheim e nel suo distretto; quella pietra pesava duecento e sessanta libre, ed il colpo fu udito più fortemente altrove che nel luogo della caduta. Un bambino vide cadere la pietra in un campo della parte alta, posto verso il Reno e l'Ill, non lontana dalla ghiacciaia, e che era coltivato a grano ed al quale non recò alcun altro danno che un buco. La portarono via e volevano romperla a pezzi, ma il magistrato lo proibì. Fu collocata nella chiesa coll'intenzione di conservarla come cosa prodigiosa; e molta gente accorreva a vedere quella pietra e si fecero dei strani discorsi. Ma i dotti dichiararono che non sapevano che cosa era, poichè la caduta di cosifatta pietra dall'aria era sopranaturale, specialmente poi era ciò un miracolo di Dio, che non era mai stato descritto nè veduto, nè udito. Ma siccome si trovò che la pietra era penetrata nel terreno per l'altezza di un mezzo uomo, così tutti credettero che fosse volontà di Dio che la pietra fosse ritrovata. Quel fragore fu udito a Lucerna, a Pfillingen ed altrove, così intensamente che la gente credette che fossero crollate delle case „.

Cerchiamo quindi, in base ai dati d'osservazione di questi fenomeni che ora possediamo, di esaminare la loro natura fino a questi ultimi tempi così misteriosa, senza indugiarci ulteriormente sullo sviluppo storico di queste cognizioni.

Noi consideriamo assieme le tre classi di fenomeni, *stelle cadenti, sfere di fuoco, cadute di meteoriti*: fra queste, le sfere di fuoco, ovvero bolidi, sono quelle che per la loro grossezza e per il loro movimento apparente relativamente lento (in confronto colle stelle cadenti), si possono ancora riguardare come fra i meno bassi fenomeni cosmici, così che essi si possono porre qui immediatamente dopo le comete.

Uno degli spettacoli più imponenti del cielo stellato, che possa colpire lo sguardo impreparato, è l'apparire di una sfera di fuoco, o di un bolide. D'improvviso così che spesso non si vede il principiar del fenomeno se non dopo aver notato la luce quasi di fulmine, ma di assai breve durata, che illumina il paesaggio, l'occhio si rivolge alla sorgente di quella che emerge fra le stelle fisse o nel crepuscolo del giorno che comincia o che finisce, come una massa rotonda splendente per lo più di luce verdastra od azzurrognola, la quale rapidamente in pochi secondi diviene più grossa e più lucente, come se essa si dirigesse direttamente verso il punto, dal quale noi, attoniti ad un tempo e meravigliati, assistiamo al maestoso fenomeno. Questa impressione è ancora accresciuta da ciò che la grande velocità iniziale del fenomeno diminuisce d'ordinario rapidamente, ed il percorso è quasi sempre obliquo rispetto

al nostro orizzonte. La sfera di fuoco ha ora toccato il suo punto di fermata; e con un colpo si svolge tutta la grandiosità del meraviglioso fenomeno. La palla di fuoco scoppia ed emette in tutte le direzioni serpeggianti razzi, un vero fuoco celeste d'artifizio, nel cui splendore si rischiara magicamente tutto il paesaggio. Un istante dopo, tutto è scomparso. Talvolta soltanto all'apparizione tien dietro un tuono fragoroso, ed ancora più raramente precipita dall'alto una pietra, che non s'addentra generalmente di troppo nel suolo, e che almeno alla sua superficie è calda e incandescente.

Spesso il bolide è accompagnato da una nube che con esso subitamente si presenta, e che di giorno può talvolta essere il solo suo indizio, e ciò quando la luce del giorno nasconde la rimanente parte del fenomeno. Da questa nube precipitano occasionalmente delle pietre meteoriche. Ma anche quando non si oda alcun fragore, e non cade alcuna pietra, l'impressione che il fenomeno sia accaduto nella massima vicinanza dell'osservatore, è così forte, che quest'ultimo spesso crede con convinzione di aver visto parte delle meteore cader giù innanzi a località terrestri. Così, in occasione di una sfera di fuoco apparsa sopra Ginevra il 5 dicembre 1880, tre diversi osservatori, distanti l'uno dall'altro di parecchie miglia, affermarono di aver veduto questa sfera di fuoco affatto loro dappresso: il primo sopra un albero in un borgo vicino al lago, cosicchè i pezzi penetrarono fra i rami, e caddero sul suolo stradale, ove scoppiarono, e gettando scintille si frantumarono: disse che la gente era ancora sul luogo, ma che non aveva trovato nulla. Il secondo osservatore, aveva veduto la meteora al termine del suo corso cadere fra lui ed una fabrica in Collonge, un villaggio che sta ad un miglio circa al Nord di Ginevra ai piedi del Salève: e che la meteora aveva dovuto necessariamente cadere colà nel giardino annesso a quel fabbricato. Anche qui riuscirono infruttuose tutte le ricerche istituite dopo. Il terzo, all'opposto degli altri due, disse che la sfera di fuoco era caduta nel lago nelle vicinanze di Chillon, cioè all'altro estremo del lago. Narrò che le montagne coperte di neve della Savoia e l'acqua rilucente erano sembrate per alcuni istanti immersi in un incanto indescrivibile: che poi la meteora rasentò direttamente le montagne intensamente illuminate, così che queste furono viste distintamente dietro la sfera, e che un momento dopo essa si spense nelle onde sibilanti.

Contro tutte queste narrazioni, una discussione minuta del fenomeno quale risultò da tutte le osservazioni, dimostrò che il bolide aveva percorso molte miglia sopra Ginevra e la Savoia, e che assai probabilmente di esso non era caduta a terra neppure una parte, almeno nei dintorni del Lago di Ginevra. Però quei tre osservatori erano moralmente ineccepibili: essi si erano lasciati illudere. Noi abbiamo raccontato diffusamente quel caso interessante, perchè esso getta molta luce sui notevoli processi fisiologici che possono svisare le osservazioni di avvenimenti astronomici, segnatamente quando questi sono di breve durata; nelle sue indagini l'astronomo deve tenerne conto. Non si hanno solo impressioni di natura fisiologica, ad esempio sulla retina del nostro occhio, ma anche altre che di per sè si vanno svolgendo nella nostra mente, e portano nella nostra fantasia un fatto inspiegabile al momento ad una conclusione intelligibile, come nel caso precedente, a mezzo della supposta completa caduta della massa meteorica.

Nella figura 122 è riprodotta una eccellente rappresentazione di una meteora esplosa il 27 luglio del 1894 sulla California, e pubblicata per la prima volta

dall'Osservatorio Lick nelle *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. Anche di questa meteora, per quanto si è potuto sapere, nulla cadde a terra.

La precedente descrizione corrisponde all'apparizione normale di una sfera di fuoco, però anche qui come nelle comete si presentano molte varietà. Così ad esempio non tutte le sfere di fuoco scoppiano; molte scompaiono così, come sono venute, dopo aver dipercorso sulla vôlta celeste un maestoso arco, e senza venir essenzialmente turbate nella loro velocità apparente. Altre descrivono linee curve, che spesso hanno risvolti bruschi e specialmente spirali (come la meteora rappresentata nella fig. 122); altre ancora invece di tenere una via inclinata rispetto all'orizzonte, come è la regola, si innalzano apparentemente verso lo zenit; però questo caso è dei più rari.

Fig. 122. — Meteora veduta nella California il 27 luglio 1894.

Jahn, osservò in Lipsia il 3 luglio 1845 una meteora che è unica nel suo genere, e che acquista particolare interesse per la sua rassomiglianza colle comete. L'apparizione fu visibile durante 26 minuti, nei quali, cominciando dall'Orsa Maggiore percorse la costellazione della Lince e dell'Auriga, con una velocità che era molto minore di quella notata in tutte le altre meteore, le quali raramente brillano per più di alcuni secondi e quindi o esplodono o scompaiono. L'astro aveva primieramente due poi tre code, e riluceva di quella luce pallida che è solita delle comete, non delle meteore. Era poi visibile distintamente un nucleo, e la luce del fenomeno subì varie fluttuazioni rimarchevoli. Una delle code era lunga 17°, e larga 1°,5. Verso la fine la luminosità e quindi anche la lunghezza della coda diminuirono d'assai, ma in gran parte anche per la crescente luce del giorno durante il crepuscolo del mattino verso le tre ore.

Il percorso dell'astro era apparentemente diretto verso il Sole. Jahn lo riguardò come una cometa vera, che si era insolitamente accostata alla Terra.

La massima parte delle meteore lasciano dietro di loro una traccia, che può rimanere visibile in cielo persino durante una mezz'ora. Questa circostanza sarebbe, almeno fino a che la determinazione geometrica non abbia dissipato tutti i dubbi intorno a ciò, una prova visibile del fatto che questi corpi attraversano un mezzo resistente, probabilmente quindi la nostra aria atmosferica, che esse pongono a mezzo del forte attrito in uno stato di luminosità: ma questo stato può essere prodotto non solo dal calore sviluppato, ma anche da una eccitazione elettrica.

Tutti i caratteri esterni finora indicati sono comuni alle meteore ed alle stelle cadenti, le quali descrivono pure traiettorie tanto rettilinee quanto curvilinee, con velocità diverse e variabili; anche il loro cammino è nella grandissima parte dei casi inclinato all'orizzonte, e non di rado esse lasciano dietro a sè delle code. Anche le stelle cadenti possono scoppiare, sebbene ciò accada molto più di rado che nelle imponenti apparizioni di sfere, e non si osservi alcuna manifestazione di rumore, naturalmente a causa della piccolezza dello scoppio; tuttavia Suess ha fatto conoscere un caso nel quale una stella cadente precipitò a terra, e così produsse una caduta di meteoriti. Ciò avvenne il 31 luglio 1859 davanti alla chiesa di Montpreis in Stiria. I frantumi che coprirono il suolo per la larghezza di un tallero con una macchia nera, erano durante alcuni secondi ancora così caldi, che " il cittadino Fr. Romich, che volle toccarne uno, si bruciò vivamente il dito „. Ora poichè la grossezza apparente delle sfere di fuoco varia dalle dimensioni del disco lunare ed oltre ancora fino a quelle delle grandi stelle cadenti, la quale grandezza ordinariamente in queste corrisponde allo splendore di Venere, così si dovrebbe non ad arbitrio giungere a pensare che non esista in generale alcuna intima differenza fra i due fenomeni, e che le stelle cadenti non siano realmente altro che piccole sfere di fuoco, od anche solo apparentemente più piccole in causa della loro molto maggiore distanza. In realtà una manifestazione luminosa che si svolga negli eccelsi strati della nostra atmosfera, viene veduta con dimensioni e splendore molto diversi dai diversi luoghi della superficie terrestre. Così Schiaparelli nel suo memorabile lavoro: *La teoria astronomica delle stelle cadenti*, scrive intorno alla meteora di Pultusk, che cadde il 30 gennaio 1868 (V. figura 123 ed anche il n° 1 della tavola: *Tipi di meteoriti*, a pag. 257, che appartiene a questa caduta di pietre): " Mentre gli abitanti nelle vicinanze di questa città furono bombardati da parecchie migliaia di pietre, in Breslavia la meteora fu vista come accompagnata da un vero e magnifico spiegamento di fuoco, ma senza che si avvertisse una detonazione. A Ragendorf in Ungheria, essa fu vista quale una meteora d'inusitato splendore, che presso all'orizzonte fu due e fin tre volte più lucida di Venere. In molti luoghi il principio della meteora non si presentò in modo diverso da quello di una stella cadente. Si può ben credere che da luoghi situati ancora più lontano, la meteora di Pultusk ebbe l'apparenza di una stella cadente ordinaria, e quindi in base a ciò non attrasse a sè l'attenzione degli abitanti „.

Col diminuire della grandezza cresce rapidamente il numero delle meteore che si presentano. Noi dobbiamo perciò ammettere che i limiti, entro i quali secondo l'esperienza deve venir ristretta la grossezza delle meteore, possono solamente essere tracciati da circostanze esterne. Perchè si sono viste poche o punto sfere

di fuoco che superassero di molto la grandezza apparente della Luna, non si è perciò in diritto di conchiudere che la Natura abbia posto un limite superiore alla grossezza delle meteore. Verso il più piccolo non esiste realmente limite di sorta. L'astronomo che sta osservando vede molte volte il campo del suo cannocchiale attraversato da linee luminose di un'estrema finezza, le quali senza dubbio provengono da stelle cadenti. Quando si rifletta che il campo di visione di un tal cannocchiale per lo più non abbraccia che alcuni centomillesimi della volta celeste, si deve conchiudere che le stelle cadenti telescopiche sono innumerevoli nelle corrispondenti regioni della nostra atmosfera e che in ogni istante da qualsivoglia punto della Terra potrebbero essere viste, quando la nostra facoltà visiva potesse essere proporzionatamente acuita, senza l'impiego del cannocchiale, che in questo caso circoscrive lo spazio. Lo stesso si può dire dei corpi cadenti in tali fenomeni. Come vedremo più innanzi (V. pag. 258 e 259) cadono spesso dal cielo grandi quantità di polvere finissima, la cui composizione mineralogica e chimica denunzia in modo non dubbio la sua origine meteorica.

Fig. 123. — Un meteorite della caduta di Pultusk.

D'altronde è accaduto molto di rado di esaminare grandi meteore telescopicamente od anche collo spettroscopio. Prima che si sia in caso di dirigere l'istrumento sulla meteora, essa è già di nuovo scomparsa. Un solo caso è noto, nel quale riuscì a Schmidt in Atene di tener dietro ad un grosso bolide col cercatore di comete.

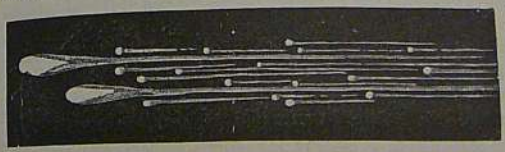


Fig. 124. — Meteora, osservata da Schmidt in Atene il 19 ottobre 1863.

L'apparizione avvenne il 19 ottobre 1863, e durò insolitamente per 21 secondi, e durante 14 secondi Schmidt potè assistere nel cannocchiale alla meravigliosa veduta. Mentre ad occhio nudo la meteora sembrava essere un tutto connesso di un diametro circa metà di quello della Luna, nel telescopio si risolse in due nuclei principali di uno splendore di color verde smeraldo, che stavano ad una certa distanza fra loro, trascinandosi dietro una gran quantità di pezzi più piccoli e verdi del pari, che lasciavansi addietro una coda color rosso di fuoco. In quest'occasione apparve chiaramente come anche i più ponderati osservatori siano propensi ad esagerare la grandezza di simili repentine apparizioni. Nel cannocchiale, nel quale non è possibile alcuna illusione in questo senso, ciascuno dei due nuclei principali era almeno venti volte più piccolo, di quanto Schmidt aveva stimato ad occhio nudo tutta l'apparizione. Dalla figura 124 noi possiamo ricavare che all'apparenza il complesso dell'apparizione era stato ben cinque volte esagerato in grossezza.

Qua e colà è stato possibile di dirigere lo spettroscopio ad una meteora, col che si videro tralucere delle linee chiare, e quando la luminosità lo permise, uno spettro continuo. Naturalmente non si potè neppur pensare ad una misura di queste linee; si dovette quindi star contenti all'impressione generale della loro

tinta, e rammentare il meglio che era possibile la loro posizione, e cercare quindi la loro analogia con spettri terrestri. Le linee chiare attestano l'esistenza di gas incandescenti durante lo svolgimento del fenomeno: esse furono viste tanto con sfere di fuoco che con stelle cadenti. La fascia luminosa continua rivelò corpi solidi i quali splendevano per incandescenza; von Konkoly e Thollon videro ripetutamente la linea chiara del natrium, che un osservatore pratico non può mancare di riconoscere. Il natrium o sodio, quel metallo che costituisce la parte principale del nostro sale da cucina, non manca quindi neppure nelle meteore cosmiche, e sembra così essersi trovato presente ovunque nella costruzione dell'Universo.

Finora la fotografia ha potuto portare ben tenue contributo alla conoscenza delle meteore. Anche a questa la fugacità del fenomeno oppone difficoltà insuperabili. Per notti intiere degli apparecchi fotografici furono rivolti al cielo, per lasciare che il caso facesse passare una stella cadente davanti al loro campo, e si ottenne così qualche impressione di tali percorsi. L'aspetto di collana di perle di taluni di essi confermò la congettura già formata direttamente di fluttuazioni intermittenti di splendore. Ma così invece non sortirono buon esito osservazioni contemporanee di una medesima apparizione istituite in luoghi diversi, nè le impressioni serbate dalla lastra furono utilizzabili.

Queste sarebbero della massima importanza per la determinazione dell'altezza delle meteore. Teoricamente quest'ultima si può determinare colla medesima precisione, colla quale si eseguisce sulla Terra qualsiasi altro rilievo di campagna. Noi dovremo diffonderci assai sui metodi relativi nella seconda Parte di questo libro. Qui basti accennare che a questa determinazione serve l'apparente spostamento prospettico, che una medesima stella cadente lascia scorgere su diversi luoghi del firmamento stellato da due osservatori situati lontano l'uno dall'altro. Benzenberg e Brandes per i primi istituirono tali osservazioni corrispondenti nel 1798 in Gottinga, procedendo così: essi osservavano da due stazioni diverse e segnavano sopra una carta tutte le stelle cadenti vedute, notando pure l'istante dell'apparizione, per poter identificare le osservazioni corrispondenti alla medesima stella. I due nominati astronomi giunsero colle loro misure ad altezze molto più elevate di quello che si potesse aspettare. I limiti estremi dell'involucro aereo del nostro pianeta, nel quale pur deve seguire l'accendersi delle meteore, era stato situato dallo studio dei fenomeni crepuscolari ad una distanza di circa 80 km. dalla superficie. Ma le stelle cadenti rimanevano quasi senza eccezione a distanze maggiori. Recenti ricerche di Weiss e dell'americano Newton hanno provato che in media questi corpi s'accendono a distanze di 180-150 km., e si spengono a 90-100 km. La media quindi di essi non giunge più in quelle regioni della nostra atmosfera che trattengono ancora in modo ragguardevole i raggi solari e li diffondono e disperdono.

Questo risultato poteva a tutta prima sembrare strano, poichè l'apparenza incandescente ed il brusco arrestarsi del corso delle meteore non si potevano altrimenti spiegare che coll'azione di un mezzo resistente, mentre per contro si è di recente indubbiamente dimostrato che l'involucro aereo della nostra Terra si estende al di là dei limiti della sua azione ottica avvertibile. Furono segnatamente le *nubi luminose notturne* (il di cui zelantissimo osservatore è Jesse in Steglitz presso Berlino) le quali apportarono una prova chiara di ciò che almeno occasionalmente

parti della nostra atmosfera si elevano ad altezze maggiori di quelle che avrebbero concesso i limiti ammessi una volta. Poichè quelle nubi luminose, che sembrano essere costituite da tenui particelle di polvere e di gas le quali furono lanciate in alto in occasione della immane eruzione vulcanica del Krakatoa nelle isole della Sonda nel 1883, arrivarono almeno fino a questo limite di 80 km., così esse dovettero quivi, per poter rimanere in quegli strati per anni, venir sostenute da un mezzo circostante, avente una densità non troppo piccola.

Alcune stelle cadenti vanno anche molto oltre i limiti riferiti sopra. Dalle ricerche di Ermans appare che in rari casi si presentarono stelle cadenti a distanze di più che 700 km. In base ad un movimento lentissimo di stelle cadenti telescopiche, che già Schröter in Lilienthal aveva notato, e che con ingrandimenti di cento e più volte non appare maggiore di un movimento visto ad occhio nudo, si credette anzi per deduzioni di probabilità di essere condotti a distanze molto maggiori; tuttavia in questo caso è anche ammissibile la spiegazione che si tratti di individui molto piccoli, che incontrano nell'aria una resistenza proporzionalmente maggiore, e che quindi in realtà, e non apparentemente a cagione della maggior distanza, si muovono più lentamente. Sopratutto per le meteore non è permessa la conclusione che quelle di luce più deboli debbano anche essere le più lontane. Quelle che penetrano nell'atmosfera con minore velocità, vengono anche ritardate molto più lentamente e consumate dall'attrito, e quindi con debole splendore giungono a noi più profondamente; per contro quelle animate da grande velocità possono svolgere manifestazioni luminose intense negli strati superiori dell'atmosfera, e quindi perciò stesso si consumano più presto.

Dalla velocità del movimento apparente e dalla distanza determinata dalla quale osserviamo le meteore, noi possiamo dedurre la loro vera velocità, espressa in chilometri al secondo. Si giunge con ciò a velocità che non potrebbero prodursi con mezzi terreni, e che quindi sono dell'ordine delle velocità trovate nei corpi celesti. Ne piace qui riportare alcuni esempi di maggiori meteore che anche per questo rispetto si comportano come le stelle cadenti.

La sera del 15 ottobre 1889 apparve una meteora insolitamente brillante, che fu veduta in tutta la Germania, dai confini austriaci al Sud fino al Nord nello Stralsund ed all'Ovest nelle provincie Renane. Körber, in Berlino, potè da un gran numero di buone osservazioni determinare molto esattamente l'orbita di questo corpo. Risultò da esse, che nel breve lasso di tempo di 3,6 secondi, la meteora percorse non meno di 185 km., cioè 50 km. al secondo. I proiettili delle moderne armi da fuoco si muovono quindi molto più lentamente, circa cento volte più adagio: perfino la Terra nel suo moto attorno al Sole non avrebbe potuto superare questa meteora, giacchè essa percorre solo 30 km. al minuto secondo. Noi ci troviamo pertanto qui di fronte ad una velocità cosmica, e non possiamo quindi dubitare che forze cosmiche trascinino questo corpo nella sua orbita. La menzionata meteora esplose, quando era a circa 48 km. sopra Nordhausen al lembo meridionale dell'Harz. Però non si scoprirono frantumi di essa.

Per un'altra meteora non distinta per speciale splendore, che il 7 luglio 1892 apparve sull'Austria e sull'Italia, il calcolo istituito da von Riessl, diede l'inconcepibile velocità di 87 km. al minuto secondo, colla quale fu percorsa per una lunghezza di 1100 km. l'orbita visibile. L'orbita mostrò la particolarità mai stata

osservata di poi, che il corpo che la percorreva, dopo la sua massima vicinanza alla Terra che si verificò a 68 km. di altezza sulla Rumenia, si allontanò di nuovo dalla Terra. Quando pochi secondi più tardi essa aveva toccato l'altezza di 158 km. sul mar Tirreno, scomparve di nuovo per noi, senza scoppiare. Si può perciò ben ammettere che in questo punto essa abbia di nuovo abbandonata l'atmosfera terrestre. Lungo tutto il percorso si videro parti della meteora staccarsi da essa in tutte le direzioni.

Noi ci troviamo quindi in presenza del fatto che dagli spazi celesti penetrano nella nostra atmosfera corpi animati da velocità straordinarie, i quali per lo più vi diventano incandescenti ed esplodono, dopo che la loro velocità è di molto diminuita. Da quanto precede appare probabile, che si debba ricercare la cagione di tale fermata ed annichilamento, nella resistenza che l'aria oppone a quei corpi. Si hanno bensì ricerche molto accurate sul modo di agire di questa resistenza, quelle cioè sulla resistenza opposta dall'aria al movimento dei proiettili delle armi da fuoco, esse però possono servire poco ai pacifici scopi della scienza astronomica. Trasportando alle meteore i risultati teorici e sperimentali delle ricerche che furono istituite sui nostri proiettili che vengono lanciati con grandi velocità, si giunse a conclusioni notevoli e significanti. Ma poichè non ci è nota la legge secondo la quale diminuisce la sottigliezza dell'aria ad altezze sopra di noi, ancora accessibili, la determinazione della resistenza dell'aria, alle altezze per noi inaccessibili, nelle quali si svolgono le apparizioni delle meteore, sarebbe stata accompagnata da difficoltà insormontabili, quando non fosse stato provato che la diminuzione della velocità in causa di questa resistenza dipende soltanto dalla quantità dell'aria attraversata e non dal grado della sua densità.

Da queste ricerche balistiche risultò che una meteora la quale incontri le prime traccie della nostra atmosfera con una velocità di 72 km. al minuto secondo, perde questa enorme velocità riducendola fino ad un mezzo chilometro, quando essa ha attraversato tanta aria, quanta se ne richiede per far salire la colonna di mercurio di un barometro di 12 mm. Ora noi non sappiamo a quale altezza domina ancora questa pressione tanto esigua di 12 mm., ma noi possiamo dire con sicurezza che si tratta solo degli strati più eccelsi dell'atmosfera. Come si sa questa pressione è sulla Terra di 760 mm.; sulle più alte montagne terrestri essa scende sotto i 300 mm.; quivi vi è dunque sempre 25 volte più aria sulle nostre teste, che in quelle regioni attraverso alle quali la velocità cosmica delle meteore viene diminuita fino a quelle che si constatano sulla Terra. Ma un momento più tardi questa velocità diviene uguale a zero, ed il corpo cade sotto la legge che governa sulla Terra la caduta dei gravi. Un altro risultato teorico pure molto notevole è che anche un corpo che penetri con una velocità iniziale molto minore è all'incirca fermato nella medesima regione della nostra atmosfera. Noi abbiamo così spiegato semplicemente il punto d'arresto, nel quale le meteore sembrano per lo più fermarsi d'un tratto, e quindi scoppiare. Le orbite a spirale di molte meteore (V. fig. 122), vanno classificate con quelle dei proiettili umani; esse si spiegano a mezzo di differenti resistenze e colla forma non rigorosamente sferica di questi corpi.

L'enorme energia che questi corpi portano seco e perdono completamente in pochi secondi non può, secondo le più alte leggi della conservazione dell'energia

TIPI DI METEORITI.

Dalla raccolta del Museo Reale ed Imperiale di Corte in Vienna.

che governano ogni avvenimento dell'Universo, andar perduta. Essa si deve convertire in calore, il quale viene del pari reso libero in quantità grandissime dal processo potente della fermata. Il trapasso che avviene in pochi secondi dal freddo dello spazio cosmico, ad un calore atto a vaporizzare in un attimo dei metalli, produce l'esplosione del corpo penetrato nell'atmosfera. Da esso la massima parte delle meteore viene senza dubbio trasformata in gas; questa è anche la ragione per la quale così di rado cadono da esse pietre, *areoliti*, ovvero *meteoriti*.

Questi ultimi appartengono perciò ai pezzi più preziosi delle nostre collezioni di storia naturale. Oggidì si conoscono 270 casi, nei quali si videro delle pietre precipitare dal cielo, ed anche se ne trovarono. A queste si aggiungono ancora circa 170 pietre, che indubbiamente sono areoliti, sebbene non siano state viste cadere. Il solo Museo di corte in Vienna possiede 400 di questi 440 esemplari di meteoriti: questa è la più ricca collezione di tal fatta di tutto il mondo (V. la unita tavola: *Tipi di meteoriti*). Brezina, che fu una volta direttore della sezione mineralogica di questo museo, racconta che una sola fra queste pietre, un pezzo di ferro del peso di 39 kg. che cadde dal cielo nel 1751 in Hraschina presso Agram, ha oggi, secondo il prezzo attuale dei meteoriti, un valore di almeno 225.000 lire.

Ma non sempre i meteoriti furono salutati con gioia come tesori insperati: non di rado furono la causa di disgraziati casi. Così negli Annali chinesi si narra che nel 616 dieci uomini furono uccisi da una pioggia di pietre; si vuole poi che nell'823, in Sassonia, 35 villaggi siano stati messi in fiamme da un simile avvenimento. Il 4 settembre 1511 caddero dal cielo su Crema più di mille pietre, delle quali alcune pesavano più di parecchie libre, e colpirono uccelli, pecore, pesci e persino un prete. Nel 1660 cadde in Milano una pietra molto piccola nel convento di Santa Maria della Pace e colpì un frate francescano. In Siena accadde che un bambino s'ebbe il 16 giugno 1794 il capo perforato da una pietra meteorica.

Da quanto precede noi possiamo intendere come queste masse pietrose, anche quando hanno grandi dimensioni, non percuotano il suolo con molto impeto, e non producano in esso grandi buchi: l'involucro aereo ci protegge anche in questo caso dal danno che ci potrebbe derivare, se corpi originariamente molto grossi percuotessero il suolo nostro conservando la loro velocità cosmica. L'enorme quantità di calore, che ora si svolge in un corpo elastico nel breve intervallo di pochi secondi, col che esso in gran parte od in tutto si risolve negli eccelsi strati dell'atmosfera in vapore non pericoloso per noi, in mancanza di uno strato aereo protettore, sarebbe d'un tratto sviluppato nel cozzo colla superficie terrestre. Forti terremoti non sarebbero solamente la conseguenza di tali catastrofi, ma anche le masse di roccia della crosta terrestre dovrebbero nel luogo dell'urto venir portate allo stato d'incandescenza, il corpo cosmico potrebbe penetrare profondamente in esse, e probabilmente potrebbero anche verificarsi manifestazioni vulcaniche eruttive. Il profondo pozzo prodotto, potrebbe quindi assumere una grande rassomiglianza con un cratere lunare, quando s'immagini che il meteorite che lo produsse fosse abbastanza tondo e grosso. Ora poichè in realtà la Luna non ha atmosfera di sorta, così ci possiamo immaginare, come vedremo meglio più avanti, che cotali formazioni su di essa ripetano la loro esistenza da una simile causa.

Ma il nostro involucro aereo agisce come un cuscino intraversabile contro tutti i più forti colpi dall'esterno e, o li tiene del tutto lontani dalla superficie, ovvero li indebolisce notevolmente. Ciò nullameno non si può contestare la possibilità che una volta un grosso corpo cosmico di meteorite, la cui massa ed energia totale sia troppo grande per poter essere distrutta dalle azioni opposte dell'atmosfera, possa attraversare il cammino della nostra Terra. Un tale intruso potrebbe quindi essere la causa del tramonto della nostra umanità e delle sue opere. Secondo le cognizioni fin qui da noi acquistate intorno a questi corpi, la povertà dello spazio cosmico in cosifatti corpi celesti sporadici cresce rapidamente colla loro grossezza, così che secondo la probabilità, un urto pericoloso può appena avvenire una volta in molte centinaia di migliaia d'anni.

Il massimo meteorite che si sia finora visto cadere, pesa 250 kg.: esso toccò la Terra il 6 giugno 1866 presso un luogo detto Knyahinga in Ungheria. Ma si rinvennero pietre molto più pesanti, che secondo tutti i loro caratteri si possono ritenere come meteoriti. Fra essi il massimo sarebbe il poderoso masso di ferro nativo del peso di 25.000 kg. che Nordenskiöld scoprì nel 1870 presso Ovisak, sulla costa Nord occidentale della Groenlandia, se però di recente non si fossero innalzati dei dubbi contro il suo carattere meteorico. Nel Messico fu trovato un altro masso di ferro di 15.000 kg. ed uno anche nell'Oregon, nell'America settentrionale, di 10.000 kg. Nel Cañon Diablo nell'Arizona nel 1891 si trovò un gran numero di meteoriti di ferro, fra i quali i massimi pesavano 425, 300 e 150 kg., i quali giacevano sparsi in una grandiosa cavità di 190 metri di profondità e di un diametro di 3,4 km. Si può appena dubitare che questa cavità così insolitamente simile ad un cratere lunare, che possedeva anche il corrispondente orlo sporgente, sia stato causato da un grandioso meteorite, il quale probabilmente esplose non appena toccò la terra. Di tutti i vestigi serbati dalla crosta terrestre degli effetti di un urto con un altro corpo cosmico, per quanto si sa, questo sarebbe il più ragguardevole.

Le pietre minori sono trovate in numero molto più grande delle maggiori; solo le molto piccole sono di nuovo più rare, il che si spiega facilmente riflettendo quanto sia più difficile il trovarle. Quanto in fatti sia difficile il trovare nell'aperta campagna cotali piccole pietre cadute, lo si può dedurre da ciò, che essendo nel 1833 scoppiata sopra Blansko in Moravia una sfera di fuoco, 120 uomini dovettero impiegare ben 600 giorni di lavoro, per ricavarne per tutto bottino sette piccole pietre del peso complessivo di 300 grammi.

La caduta di pietre avvenuta nel 1869 in Hessle (Svezia), nella quale le pietre meteoriche che si erano sparpagliate sulla crosta di ghiaccio del lago Arno, si poterono facilmente trovare, dimostrò che nelle occasioni di pioggie di pietre, cadono anche dei pezzi molto piccoli, e che quindi la minutezza dei meteoriti non è ristretta da alcun limite: allora si trovarono pietre del peso di $^1/_{17}$ di gramma. Ma dall'aria precipita in basso una quantità immensa di materia allo stato di polvere finissima, e colla sua composizione rivela il suo carattere ultraterrestre, mentre altre eventuali pioggie di polvere si poterono spiegare a mezzo di eruzioni vulcaniche. Specialmente nelle solitarie regioni dell'alto Nord, dove non possono giungere i molteplici rimescolamenti dell'aria cagionati dall'opera incessante ed irrequieta dell'uomo, e dove un esteso strato di neve rende facilmente visibili

le masse venute dal cielo, si trovano frequentemente traccie di cadute di polvere meteorica, la quale in causa dell'ossidazione delle particelle di ferro accumulate (molte cadute di polvere consistono esclusivamente di ferro nativo polverizzato) tinge per larghi tratti la neve in rosso. Nordenskiöld si è dedicato profondamente allo studio di queste cadute di polvere, e fra gli altri racconta di un caso tale, che avvenne il 3 maggio 1892, e le cui traccie si poterono seguire in Danimarca, Svezia, Germania settentrionale, Finlandia sopra una regione lunga 1650 km. e larga dai 300-500 km. Egli stima che la polvere caduta in quella circostanza salga a 500.000 tonnellate.

Il nostro accreditato autore riferisce ancora i casi seguenti: Il 6 novembre 1472 si distese sopra Costantinopoli una nube nera, dalla quale cadde uno strato di polvere calda alto un palmo, e che sapeva un odore sgradevole. Il 3 dicembre 1586 presso Berden in Annover, accompagnata da lampi e tuoni cadde una polvere nera, che era così calda che carbonizzò delle assicelle. Il 13 e 14 marzo 1813 una nube rossa oscurò estese regioni dell'Italia meridionale, " così che alle 4 pomeridiane fu necessario accendere i lumi, ed il popolo si affrettava alla chiesa, nella paura della fine del mondo. Da questa nube caddero presso Sutro in Calabria delle pietre meteoriche, ed in molti luoghi in Italia una pioggia di polvere rossa del color del mattone „. L'analisi chimica di questa polvere diede fra le altre sostanze anche il cromo, che fu bensì trovato nelle pietre meteoriche, ma mai nelle polveri vulcaniche. Si hanno relazioni di casi simili ancora nel 1819 da vari luoghi dell'America meridionale e settentrionale, nel 1814 (30 ottobre) dallo sbocco del fiume S. Lorenzo, e nel 1881 da Jenisseisk in Siberia. Si deve qui aggiungere che talvolta cadde dal cielo anche del sale: " Il 30 agosto 1870 avvenne una caduta di sale straordinariamente vivace, in presenza di tre testimoni oculari presso il ponte di Lucendro, all'altezza del passaggio del Gottardo. I chicchi di grandine caddero con un fresco vento da Nord, durante un tempo di circa cinque minuti „.

Fig. 125. — Meteorite di Butsura.

D'altronde le stelle cadenti non sono poi di un ordine essenzialmente molto più elevato di questa polvere meteorica, essendosi potuto con una intelligente applicazione della legge della conservazione dell'energia, dal consumo di materia che richiede l'energia di movimento distrutta per portare all'incandescenza la stella cadente, dedurre la vera grossezza di questa. Si ottenne a questo modo per le massime stelle cadenti, dello splendore di Venere, in media non più di due chilogrammi di materia, e per quelle della luce di una stella di prima o seconda grandezza, solamente sei grammi. Quindi se le più piccole stelle cadenti telescopiche, non sono da noi notevolmente più lontane delle più lucenti, esse sono realmente granelli minutissimi di polvere, che solamente per il loro energico riscaldamento, si fanno a noi visibili da così grandi distanze.

Si è già fatto cenno del fatto che non sempre cade una o poche pietre, ma che occasionalmente avvengono vere pioggie di sassi. Così ad esempio il 26 aprile 1803, nella famosa Caduta de l'Aigle, precipitarono a terra da 2 a 3000 pietre. Si può ora proporre il quesito se queste pietre appartengano tutte ad un unico e medesimo corpo celeste, che penetrò nella nostra atmosfera e vi esplose, oppure se in realtà esistano interi sciami di tali corpi, che percorrono orbite comuni e giungono assieme alla Terra. Già nel caso medesimo dell'apparizione di un'unica sfera di fuoco, che poi scoppia e caccia all'ingiù una pioggia di pietre, non si era del tutto certi se si dovessero attribuire tutte queste pietre ad un unico individuo originale, poichè la meteora già menzionata, che Schmidt vide in Atene, aveva rivelato la sua composizione constare di varii corpi procedenti l'uno all'altro vicini. In altri casi per contro si potè dimostrare lo scoppio in modo indiscutibile. Fra le pietre che il 12 maggio 1861 caddero presso Butsura nell'India orientale, si trovarono tre pezzi in direzioni opposte a distanze di parecchi chilometri, i quali combaciavano perfettamente, come mostra la figura 125. Tutta la forma rivela inoltre, che anche questi corpi sono evidentemente soltanto parti di un corpo ancora molto più grosso; a sinistra si vede inoltre un quarto pezzo di forma sferica, alla superficie di frattura, il quale lascia indovinare la grossezza del corpo originario che penetrò nell'aria. In un altro caso due pezzi combaciavano perfettamente alla superficie di frattura.

Se cadono molte pietre grandi e piccole, allora si constata che la dispersione avviene sopra un lungo tratto di percorso, il quale corrisponde al corso osservato della meteora precedentemente veduta, e che le più piccole pietre cadono le prime. Ciò è notevole, poichè nel corso ordinario delle cose dovrebbe avvenire l'opposto, poichè nell'aria resistente i corpi più piccoli cadono più lentamente dei più grossi. Noi dobbiamo quindi ammettere che le pietre più piccole si staccano realmente prima delle maggiori dal corpo principale, il che è anche confermato dal fatto dell'emissione di scintille, lungo il loro percorso, di molte sfere di fuoco innanzi di scoppiare. Se gli ultimi fatti menzionati militano in favore di ciò, che per la massima parte le pioggie di pietre appartengono in origine ad un unico corpo, d'altra parte però fu constatato che talvolta penetrano separatamente nella nostra atmosfera parecchie meteore di grandi dimensioni correnti parallelamente. Si è spesso veduto ad intervalli brevi, o di ore e di giorni, dei bolidi percorrere l'uno dietro l'altro lo stesso cammino; anche le stelle cadenti sogliono di frequente

presentarsi a coppie, e ben presto vedremo che talvolta miriadi di stelle cadenti giungono fino a noi provenendo dalla stessa plaga dell'Universo.

Il frantumarsi di cosifatte pietre dure nell'aria, parla ben chiaramente a dimostrare la vivacità e la violenza dei procedimenti interni che in esse si svolgono nella repentina trasformazione del movimento in calore. Il calore enorme non ha evidentemente tempo di penetrare così rapidamente fino nell'interno del corpo, che in principio doveva possedere la temperatura estremamente bassa dello spazio

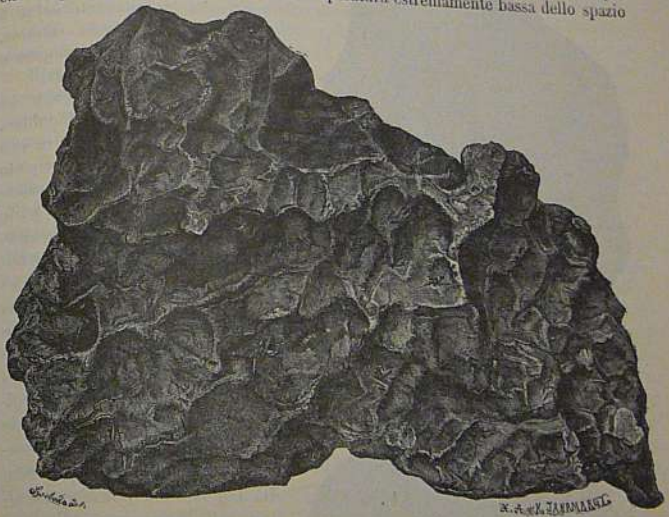


Fig. 126. — Ferro meteorico di Hraschina.

celeste. Si producono tensioni molto elevate che conducono alla frantumazione di pezzi superficiali. Sebbene questi pezzi ci pervengano molto riscaldati, tuttavia in una occasione almeno, quella della caduta di pietre a Quenggouk nell'India orientale, nella quale una pietra scoppiò immediatamente dopo la caduta, fu accertato il grande freddo dell'interno.

Il subitaneo riscaldamento è provato anche in modo evidente dalla crosta di fusione sottilissima, che sempre ricopre come un nero avvolgimento tutti i meteoriti, e che colle sue cavità a guisa di impronte di dita, dà loro l'aspetto di scoria. Nel n° 2 della tavola: *Tipi di meteoriti*, a pag. 257, si può vedere in parte la crosta di fusione. Artificialmente si potè produrre questa crosta di fusione solo a mezzo di un riscaldamento forte e repentino: ma prolungando d'assai il riscaldamento, i meteoriti impiegati si convertirono in ammassi di natura gasosa, sotto la quale però essi mai precipitano al basso. Le menzionate impressioni analoghe ad impronte di dita, sono ad un tempo indizii evidenti del rapido processo di fusione. Il grande meteorite di Hraschina, rappresentato nella figura 126, mostra

ben distintamente quelle impronte. Un meteorite normale è sempre un pochino foggiato a cono ed ha una *superficie di petto e di dosso*. Solo la prima mostra le impronte di dita. La figura 127, che rappresenta un meteorite della celebre pioggia di pietre di Stannern (22 maggio 1808), mostra queste due faccie. Anche il meteorite rappresentato nel n° 4 della succitata tavola colorata, lascia ravvisare quelle impronte sulla superficie di frattura.

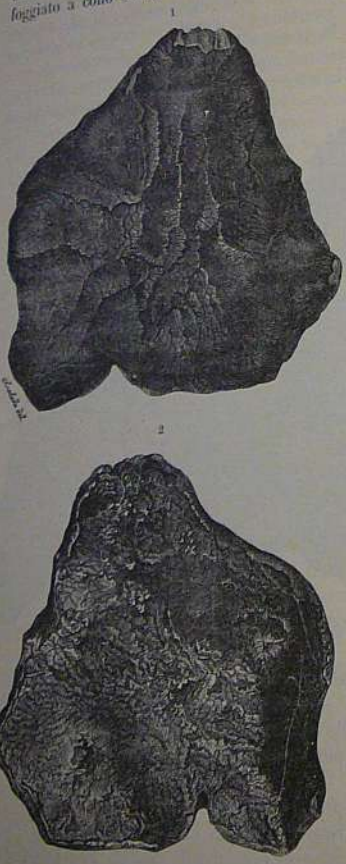


Fig. 127. — Meteorite di Stannern: 1) Faccia di petto; 2) Faccia di dosso.

Da che la natura cosmica dei meteoriti fu posta fuori di dubbio, sembra meraviglioso che in essi non si sia trovato alcun elemento chimico che non sia anche stato ritrovato in qualche altra parte sulla Terra. Solo la loro composizione mineralogica, che generalmente è simile a quella dei nostri più profondi strati terrestri, si diversifica da questi. Essi si dividono in due gruppi principali, le *pietre meteoriche* ed i *ferri meteorici*. Le prime hanno d'ordinario i caratteri delle nostre roccie cristalline primitive, ma posseggono solitamente anche una densità più elevata. Poichè quest'ultima sulla Terra cresce colla profondità, così si presenta spontanea la conclusione che si troverebbero specie di roccie presentanti coi meteoriti rassomiglianze sempre maggiori a profondità oggi inaccessibili. Ciò può essere reso molto più probabile per i *ferri meteorici*, i quali contengono il ferro allo stato nativo, sempre però mescolato con nickel. Il ferro nativo s'incontra solo estremamente di rado negli strati terrestri, tanto che una volta non si credeva generalmente alla sua presenza sulla Terra. Recentemente invece, si sono, specialmente in Groenlandia, scoperte delle vene di ferro le quali hanno probabilmente la loro origine nelle più intime profondità della Terra. Il masso meteorico di Ovisak, che una volta riguardavasi come ferro meteorico,

sembra derivare da queste vene. Ora, poichè la densità complessiva della Terra, che noi impareremo a determinare nella nostra seconda Sezione, è molto superiore a quella degli strati superficiali a noi accessibili, così dobbiamo ammettere che nell'interno siano accumulate sostanze straordinariamente pesanti, alle quali appartengono i metalli nativi. In questo senso si pronunziano così anche i meteoriti ferrici sulle profondità del nostro globo terrestre.

Sebbene fra i 440 casi, dei quali si hanno dei meteoriti nelle raccolte, si trovino 157 ferri meteorici e 283 pietre meteoriche, queste ultime non predominino di molto, tuttavia si è certi che dallo spazio celeste a noi pervengono assai meno masse di ferro che di pietra; giacchè fra queste masse di ferro (compresavi quella di Hraschina), solo 8 furono viste realmente cadere, contro 262 cadute di pietre osservate. Per contro se ne trovarono 149 presentanti il carattere di ferro meteorico e solo 21 quello di pietra meteorica. La ragione di questa speciale proporzione inversa, vuole essere cercata nell'azione del tempo, la quale intacca molto più le pietre che i massi di ferro, i quali si mantengono quasi inalterati a causa dello strato protettore d'ossido che si forma rapidamente.

Finora negli aeroliti furono riscontrate le seguenti sostanze: idrogeno, carbonio, azoto, ossigeno, zolfo, fosforo, cloro, sodio, calcio, silicio, calio, magnesio, alluminio, manganese, ferro, nickel, cobalto, arsenico, cromo, rame, stagno, titanio, argon, elio. Gli ultimi due elementi furono, come è noto, scoperti solo da breve tempo sulla Terra. L'argon è un componente permanente della nostra atmosfera, che solo difficilmente si può separare dall'azoto, per il che era da prevedersi che l'argon fosse contenuto anche nei meteoriti che contengono azoto. Noi impareremo a conoscere diffusamente la storia dell'elio nel capitolo sul Sole. L'aver riscontrato questo elemento, che finora era stato constatato solo spettroscopicamente nel Sole, e soltanto dopo lunghe e sterili ricerche nelle sostanze terrestri, anche nei meteoriti, i quali, come presto vedremo, ripetono la loro provenienza dalle profondità dell'Universo stellato ben al di là dei confini del sistema solare, è uno dei più bei trionfi della persuasione dell'identità di tutte le sostanze che costituiscono il mondo. È veramente meraviglioso, che malgrado le accurate analisi che furono eseguite su tutti i meteoriti, specialmente da Cohen in Greifswald, non si sia trovato alcun elemento a noi sconosciuto. Poichè noi non possiamo in modo alcuno pretendere di conoscere tutti gli elementi che concorsero alla costituzione della nostra Terra, così possiamo trarre la conseguenza, che anche il rapporto nel quale stanno presso di noi le sostanze rare e le comuni, molto diffuse, sia all'incirca il medesimo in quei corpi celesti, dei quali noi possediamo dei saggi nei meteoriti. Non deve poi stupire che finora non si siano ritrovati in essi tutti gli elementi terrestri, giacchè la maggior parte degli elementi diffusi è contenuta nella nostra lista precedente, e d'altra parte le quantità di sostanze meteoriche esaminate sono piccole. Potrebbe al più colpire la mancanza del piombo e dello zinco.

Il carbonio si presenta nei meteoriti in forma di grafite e cristallizzato come diamante. In quest'ultima forma fu trovato da Friedel nei già menzionati meteoriti del Cañon Diablo. Esso era polvere di diamante finissima (carbonizzata). Lo scopritore crede che questa polvere si sia formata direttamente dal carbone. Si è infatti di recente riuscito a formare artificialmente dei piccolissimi diamanti, sottoponendo la grafite a pressioni molto forti.

Il presentarsi costante del carbonio nei meteoriti è altamente notevole. Sulla Terra il carbonio si riscontra solo colà dove è carbonizzata della materia organica. Ora, è esso il carbonio, anche nelle pietre cadute dal cielo di origine organica, e ci viene per esso provata l'esistenza, fuori anche del nostro piccolo pianeta, di creature sensibili? La grande domanda non può, pur troppo, ricevere risposta determinata, perchè non furono scoperte nei meteoriti sicure traccie di forme organiche. Le traccie di coralli o di animali primitivi di diverse specie, che si credette altra volta di aver trovato, furono nel frattempo diversamente interpretate. Fu già detto che i meteoriti appartengono per affinità alle roccie cristalline, nelle quali anche sulla Terra, non si trova pietrificato nessun avanzo di organismi. Quindi su quei corpi cosmici, dei quali ci stanno davanti dei saggi, l'acqua non aveva prodotto il lavoro che dà la forma alle roccie e risveglia la vita, e che creò gli strati terrestri di sedimento e gli esseri che vi sono incorporati, almeno per quanto quei saggi possono di ciò darci contezza.

Persino i rapporti delle mescolanze, dalle quali furono presso di noi formate le varie roccie cristalline, si riproducono esattamente in molti meteoriti, mentre altri se ne distaccano essenzialmente. A queste ultime appartengono la laurenzite, che consta di cloruro di ferro, la schreiberzite, che è composta di ferro, nickel e fosforo, la daubréelite (ferro cromico) e segnatamente il ferro nickel dei veri ferri meteorici. Il nickel si presenta anche quasi sempre nei minerali di ferro terrestri, ma non certo in una così grossa proporzione, e sopratutto non in una simile forma cristallina. Da questa sono prodotte le così dette figure di Widmannstätten (V. fig. 128 ed il n° 5 della tavola colorata a pag. 257), allora quando si sega una tal pietra e la si tocca con acido nitrico. L'acido corrode così le particelle intaccabili e rende visibile una bella struttura cristallina delle sostanze più dure, che nessuna sostanza appartenente originariamente alla Terra lascia scorgere. Però esse possono venir prodotte artificialmente quando si faccia fondere per comporre un ferro meteorico artificiale, una miscela in giuste proporzioni di ferro e nickel. Questa struttura cristallina nelle pietre meteoriche è una dimostrazione parlante della validità costante delle più segrete forze di natura che costruggono i cristalli.

Si hanno le più svariate graduazioni di trapasso tra i ferri e le pietre meteoriche, le quali dimostrano che gruppi di corpi celesti d'alquanto separati non potevano aver prodotto gli uni o le altre. La tavola a pagina 257 contiene diverse di queste forme mineralogiche di trapasso interessantissime. I meteoriti corrispondenti si trovano tutti nel Museo di corte in Vienna.

Molte volte le analisi chimiche dei meteoriti in causa dell'esigua quantità di materiale disponibile, hanno dovuto essere eseguite collo spettroscopio. Per questo rispetto sono degne di nota le ricerche di Vogel sui gas che i meteoriti emanano quando sono riscaldati. In esse apparve specialmente lo stesso spettro degli idrocarburi, che le comete posseggono, tuttavia mescolato con uno spettro di ossido di carbonio, che cedeva sempre più il posto al primo, quanto più il riscaldamento veniva attivato e spinto a mezzo della scarica elettrica che li attraversava. Vogel è d'opinione che questo spettro dei gas dei meteoriti coincide molto meglio collo spettro delle comete che quello dell'idrocarburo puro. Per facilitare l'osservazione spettroscopica diretta, almeno delle meteore più splendenti, mentre esse brillano, von Konkoly ha costrutto uno spettroscopio, col quale, a mezzo della

introduzione di una lente cilindrica concava dietro alla serie di prismi a visione diretta, può essere guardato un campo di visione di più di 50 larghezze della Luna piena. Pur astraendo da questa proprietà essenziale per l'osservazione delle meteore, un altro vantaggio di questo spettroscopio per meteore sta in ciò che la loro velocità apparente subisce in esso un raggnardevole rimpiccolimento.

Fig. 128. — Figure di Widmannstätten nei ferri meteorici.

Ora, se i meteoriti devono poter servire con tutta la forza di persuasione alla dimostrazione dell'identità della materia costituente l'universo, nelle regioni più lontane dello spazio celeste, è necessario che prima sia irrefragabilmente provato che essi ci pervengono dallo spazio celeste, e che mai, neppure nelle epoche più remote, han potuto appartenere alla Terra. Questa opinione era stata una volta emessa da Lagrange, ed il matematico francese Tisserand ha osato ancora pochi anni fa rompere una lancia in favore di questa opinione antiquata. Secondo questo modo di pensare, queste pietre dovrebbero essere ejezioni dei nostri vulcani, non nel senso che esse siano state lanciate nell'aria, come le ben note bombe vulcaniche, e quindi siano di nuovo precipitate in basso, ma bensì che esse altra volta, probabilmente nelle epoche più remotamente lontane della storia terrestre, siano state cacciate fuori dall'interno della Terra, con una forza così grande, da dover per sempre allontanarsi dal dominio della forza d'attrazione terrestre, per formare un anello di corpi così fatti nelle vicinanze dell'orbita terrestre, che nella sua composizione fisica sarebbe quindi completamente uguale all'anello di Saturno. Da questo anello dovrebbero accidentalmente ricadere sulla Terra delle parti. D'altronde si è stabilito che anche oggi delle bombe vulcaniche vengono lanciate con velocità molto maggiori di quelle onde sono animati i nostri più veloci proiettili, tuttavia la velocità non fu mai trovata così grande, da poter produrre un reale distacco. In epoche

precedenti, l'attività vulcanica della nostra Terra è stata certamente molto maggiore di quella che noi oggi conosciamo; sarebbe quindi da dubitare, che colla esistenza di un più grande numero di vulcani, che potevano meglio dei pochi attuali concedere libero e facile sfogo alle tensioni interne, la potenza delle manifestazioni vulcaniche fosse contemporaneamente più elevata. Per contro la composizione mineralogica dei meteoriti, che accenna ai più profondi strati della crosta terrestre come luogo d'origine, potrebbe non essere sfavorevole a questo modo di vedere.

Ora si può facilmente dimostrare, ciò che anche Tisserand avvertì, che corpi che siano staccati dalla Terra in un'epoca qualsiasi, non potrebbero mai far ritorno alla Terra con velocità che superino quella della Terra stessa nella sua orbita intorno al Sole. Con espressione matematica, i meteoriti non potrebbero mai penetrare nell'atmosfera con orbite iperboliche, il che noi intenderemo meglio nelle nostre discussioni teoriche della seconda Sezione. Ma frattanto dalla più esatta conoscenza delle orbite delle meteore, che fu particolarmente avanzata dall'americano Newton e da von Riessl in Brünn, fu con tutta sicurezza dimostrato che la massima parte delle meteore si muovono in orbite fortemente iperboliche, particolarità che in modo così rimarchevole e spiegato esse non dividono con alcuna altra classe di corpi celesti; giacchè le poche comete con orbita iperbolica mostrano questa proprietà solo in debole misura. Si deve perciò da prima ritenere, che almeno un gran numero di meteore che attraversano la nostra atmosfera, ci giungono da regioni nelle quali le comete stesse sono fuori del dominio dell'azione del Sole, o giungono dalle profondità del mondo stellato sotto l'azione dell'astro del giorno. Vedremo meglio nel prossimo Capitolo quanto debba essere lungo il loro cammino.

L'indipendenza delle meteore dalla Terra, si può ancora provare colla natura della loro distribuzione e della loro frequenza, quando si consideri che anche la Terra possiede un movimento nello spazio intorno al Sole e di rotazione sopra sè stessa. Se le meteore fossero di origine terrestre nel senso delle antiche opinioni (ad eccezione di quella di Lagrange), esse dovrebbero partecipare a tutti i movimenti della Terra. La rotazione diurna della Terra attorno al proprio asse, si rivela a mezzo del levare e del tramontare degli astri fissi, per contro il moto annuo di rivoluzione attorno al Sole stabilisce una posizione affatto determinata, che noi col nostro pianeta riprendiamo ogni anno alla medesima data rispetto al Sole. Pertanto, se le meteore sono disugualmente distribuite nello spazio, ciò si farà manifesto a mezzo della loro diversa frequenza nei vari giorni dell'anno, che si ripete ogni anno alla medesima data. Inoltre i due movimenti della Terra dànno origine ad una particolare manifestazione. La figura 129 rende prima di tutto manifesto in qual senso avvengono i due movimenti. Da questa si scorge anche immediatamente, che quelle parti della Terra che nel suo moto annuo precedono nello spazio, si trovano sempre nelle ore del mattino, mentre la parte che ha sera, lascia dietro sè lo spazio vuoto. Il punto del cielo verso il quale in ogni istante è diretto il moto annuo della Terra fu denominato *apex*. Se ora le meteore sono distribuite nello spazio, in modo all'ingrosso uniforme, per il loro incontro colla Terra deve verificarsi una certa distinzione che deve essere legata a questo *apex* in modo ben determinato. Evidentemente possono scontrarsi colla

parte della Terra che ha mattina tutte quelle meteore che non camminano più rapidamente di essa e che si muovono nel medesimo senso; nella parte a sera, ci possono essere visibili solo quelle meteore che si muovono più celeremente di noi e che ci vengono incontro. Quindi se le meteore sono indipendenti dai due movimenti terrestri, esse devono presentarsi molto più frequenti nelle ore del mattino che in quelle della sera. Queste considerazioni ci fanno intendere, come un'accurata statistica di queste apparizioni possa condurre alle più importanti conclusioni sulla posizione cosmica e sulla natura delle stelle cadenti e dei loro maggiori parenti.

La rarità delle maggiori meteore rende più difficile lo scoprire per tali apparizioni quelle regolarità alle quali possono andar soggette. Le cadute di pietre si producono almeno da che fu rivolta ad essa una più accurata attenzione, in numero di circa cinque in un anno. Da ciò si può solo mediatamente concludere al numero reale delle pietre che cadono generalmente sulla Terra. Prima di tutto dobbiamo ammettere che durante la notte passano inosservati altrettanti casi, quanti ne sono osservati durante il giorno. Inoltre, la porzione della superficie terrestre che è abitata dall'uomo civile, sta a quella sulla quale avvenimenti di tal fatta passano inosservati, come 1 : 100. Pertanto dalle cinque cadute di pietre osservate in media ogni anno, noi possiamo senza renderci colpevoli in alcuna esagerazione dedurre che in realtà in un anno cadono dal cielo circa mille pietre, ossia che la Terra è giornalmente colpita da due a tre di tali proiettili cosmici. Se ora a quelle cinque pietre cadute si aggiunge ancora un numero di meteore di maggiori dimensioni, dalle quali non precipitano sulla Terra pietre di sorta, il loro numero rimane pur sempre troppo esiguo per potere a mezzo di esso dimostrare con determinatezza un qualsiasi periodo diurno di frequenza. Nell'autunno del nostro emisfero terrestre settentrionale, appaiono più meteore grandi che non in primavera; e secondo Neumeyer, che istituì osservazioni corrispondenti in Melbourne, il controllo sull'emisfero meridionale confermò questo aumento per quelle stagioni dell'anno nelle quali, nel movimento della Terra intorno al Sole, il polo Sud va innanzi.

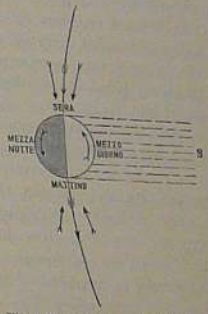


Fig. 129. — Movimento della Terra in uno sciame di stelle cadenti.

Ma questo fatto non deve condurci a conchiudere che negli spazi attraversati dalla Terra in autunno, si trovino questi corpi in numero maggiore che nelle regioni dell'orbita terrestre corrispondenti alla primavera, poichè esso dipende dalla posizione dell'*apex*, che cambia colle stagioni. Noi non possiamo che menzionare queste relazioni, per non addentrarci ora nei rapporti di posizione dei corpi celesti che devono formare oggetto della seconda Parte di questo Trattato. La posizione dell'asse della Terra inclinata sull'orbita di essa, la così detta obliquità dell'ecliptica, fa sì che l'*apex* del movimento della Terra nel nostro autunno rimanga sull'orizzonte molto più a lungo nelle nostre latitudini settentrionali, che non in primavera. Ora poichè le previsioni di incontrare una meteora sono massime per la direzione dell'*apex*, così questa possibilità è di più lunga durata nell'autunno,

e poichè nella direzione dell'*apex*, il movimento della Terra si aggiunge a quello delle meteore, così si è da questa direzione che noi dobbiamo veder provenire le meteore colla loro massima velocità relativa. Ciò è confermato dall'osservazione. Specialmente poi si nota il fatto interessante, che nell'autunno quando noi dobbiamo ricevere la massima parte delle meteore dalle vicinanze di quel punto che è *apex*, il loro punto d'arresto è in media situato molto più in alto che in primavera; von Riessl, in 29 bolidi d'autunno studiati lo trovò a 63 km. ed in 22 meteore di primavera in media a soli 45 km. d'altezza sulla superficie terrestre. La velocità di tanto maggiore delle prime, produce un attrito più forte, ed un'esplosione più rapida. Con ciò va d'accordo il fatto constatato da Newton in Newhaven, che in primavera si noverano ben più numerose le meteore detonanti. Da una posizione più bassa del luogo d'esplosione, il rumore deve giungere a noi più facilmente.

Alle meteore primaverili con forte detonazione appartiene anche quella apparsa sopra Madrid alle ore $9\frac{1}{2}$ antimeridiane del 10 febbraio 1896, che suscitò un vero panico fra gli abitanti di codesta città e quelli della massima parte della Spagna. Dalla circostanza, che l'apparizione luminosa precedette di circa 1 minuto e mezzo il fragore dell'esplosione, si potè stimare l'altezza alla quale questa era avvenuta, che fu di circa 30 km. Malgrado questa distanza lo scuotimento dell'aria fu ancora così energico, che ne crollarono dei muri e delle vetrate di finestre n'andarono in frantumi. Il barometro oscillò repentinamente di 11.4 mm. Il fragore della detonazione potè essere avvertito in una circonferenza di 250 km. Però caddero solo poche pietre. Anche questa volta in causa di notizie fra loro contraddittorie, non si poterono istituire esatte ricerche sull'orbita della meteora. Si congettura, che allora probabilmente penetrò nella nostra atmosfera un vero sciame di meteore; come indubbiamente avvenne in un altro caso il 16 gennaio 1895. In quel giorno, sulla Boemia, Moravia e Silesia, nel corso di tre minuti apparvero tre diverse meteore, le quali non avevano fra di loro alcuna relazione.

Senza dubbio, delle relazioni periodiche si verificano nella numerosa schiera delle stelle cadenti. Non è facile il rappresentarci chiaramente quanto enormemente grande sia il numero di queste apparizioni. È accertato, che un unico osservatore, nella parte della vôlta celeste che egli può abbracciare collo sguardo, vede in media ad occhio nudo dieci stelle cadenti in un'ora. Pertanto in un dato luogo della superficie terrestre in quella parte del firmamento, che da esso si può dominare, naturalmente non da un solo osservatore, si osservano da 30 a 40 di tali stelle cadenti. Ora l'americano Newton ha dimostrato che questo campo costituisce solamente la 10.460^{ma} parte di tutta l'atmosfera. Quindi tutta la Terra riceve in ogni ora da 300.000 a 400.000 stelle cadenti, ossia giornalmente fin 10.000.000 di esse. Tutto lo spazio celeste deve quindi essere ripieno di questa polvere cosmica, non altrimenti che la nostra aria lo sia di polvere terrestre. Ora se si ammette che il peso medio di ciascuna stella cadente sia anche solo di 5 grammi, il che è un estimo molto basso, allora si deduce che alla Terra vengono dallo spazio celeste apportati ben 20 millioni di chilogrammi di materia, trascurando le pietre meteoriche e la polvere meteorica propriamente detta, la quale benchè penetri inavvertita, non è senza massa, e probabilmente contribuisce a questo aumento della massa terrestre, con un importo non minore di quello delle stelle cadenti. Noi

dovremo tener conto di questo fatto, quando dovremo considerare la Terra sotto l'aspetto di un corpo in vicendevole azione cogli altri corpi celesti.

Secondo osservazioni di Schmidt in Atene, durate 35 anni, la frequenza oraria delle stelle cadenti è rappresentata dalle cifre seguenti:

Ore della sera	Numero	Ore della sera	Numero	Ore del mattino	Numero
6	3,8	10	8,2	1	13,1
7	4,6	11	9,8	2	14,4
8	5,6	12	11,5	3	15,0
9	6,8			4	14,8

È impossibile il non avvertire l'aumento verso le ore del mattino. La diminuzione che pure si fa manifesta dalle ore 3 del mattino in poi, si spiega col primo apparire del crepuscolo, che lascia scorgere sempre minor numero di stelle cadenti. Quindi il *maximum* che teoricamente dovrebbe verificarsi alle 6 del mattino, non si può constatare praticamente. Noi dobbiamo quindi segnalare il fatto che praticamente la massima frequenza delle stelle cadenti suole constatarsi intorno alle 3 del mattino.

Se ora si determina la media frequenza oraria di ogni notte, e quindi la media mensile, si ottiene la seguente tabella per il periodo annuo:

Gennaio . . .	8,6	Maggio . . .	6,0	Settembre . . .	9,8
Febbraio . . .	5,6	Giugno . . .	6,1	Ottobre . . .	14,1
Marzo	6,5	Luglio . . .	11,1	Novembre . . .	13,3
Aprile . . .	6,4	Agosto . . .	20,6	Dicembre . . .	12,2

È visibile la maggiore frequenza nella seconda metà dell'anno. Se ora si eccettua agosto, nel quale passa uno sciame del quale dovremo discorrere più distesamente, e che perturba la statistica per la media ordinaria, allora si ottiene per la media mensile della frequenza oraria della prima metà dell'anno 6,5 e per la seconda metà 12,1, cioè all'incirca il doppio. L'influenza della posizione dell'*apex* rispetto al luogo d'osservazione è dimostrata con evidenza dalle qui riportate tabelle, tanto nella sua variazione diurna, quanto in quella annua, e quindi stabilito il carattere cosmico del fenomeno.

L'ultima tabella delle medie mensili non mostra però lo stesso regolare andamento progressivo di quella delle medie orarie. Vi si notano dei salti, segnatamente per agosto. Questi si spiegano colla reale distribuzione irregolare delle stelle cadenti nello spazio che si fece ben distintamente riconoscere nelle pioggie di stelle cadenti. Come noi abbiamo già teoricamente trovato nella supposizione della natura cosmica delle stelle cadenti, così anche praticamente risulta che la loro frequenza cresce notevolmente in certi determinati giorni di ogni anno. Le più famose di queste pioggie sono quelle denominate lacrime ardenti di S. Lorenzo, martire arso in Roma nel 258, che avvengono il 10 agosto di ogni anno, ed uno sciame che ritorna regolarmente intorno al 12 novembre. Entrambi i fenomeni si possono storicamente seguire molto a ritroso degli anni, quello dello sciame di agosto fino all'830, e quello di novembre fino al 902. Essi giunsero sempre assieme a noi al medesimo punto dell'orbita terrestre, con appena più di un giorno d'incertezza, sebbene nel corso dei secoli la data del calendario per questo incontro abbia dovuto lentamente spostarsi.

Fig. 130.
Percorsi di meteore, osservate il 9, 10 ed 11 agosto 1894 da A. L. Colton all'Osservatorio Lick.

Lo sciame di novembre fu quello che per il primo richiamò l'attenzione dei dotti, quando mostrandosi brillantemente nell'anno 1799 fu osservato da Humboldt e Bompland a Cumana nel Venezuela; mentre fino a quell'epoca era stato intieramente trascurato dagli scienziati, come un fenomeno di sede puramente atmosferica. Allora alle 2 ore e mezzo di notte del 12 novembre, apparvero improvvisamente migliaia di stelle cadenti, miste a sfere di fuoco, così presto che tutto il firmamento ne fu invaso. Esse procedevano assieme in direzioni simili. Il loro presentarsi fu notato in molti luoghi della Terra. Le meteore di novembre non si ripeterono in simil modo negli anni successivi, nei quali esse furono molto meno frequenti, solo si osservarono cadute più copiose negli anni 1823 e 1832. Ma nell'anno successivo, 1833, il fenomeno si manifestò con uno splendore tale, quale non era ancora mai stato visto. " Le sfere di fuoco si dipartivano come fuochi di artifizio da un unico punto, ed in così gran numero, che esse cadevano fitte come fiocchi di neve, ed il cielo sembrò ben presto essere tutto in fuoco „ (Littrow-Weiss). Gli osservatori principali di questa pioggia furono Olmsted e Palmer in Newhaven (America settentrionale). In Boston, ancora alle 6 del mattino, quando il *maximum* era da lungo trascorso, si contarono 650 stelle cadenti in un quarto d'ora; in un complesso per l'orizzonte di Boston ne sarebbero cadute circa un quarto di millione,

rispetto a 100 che darebbe per quell'epoca la media ordinaria della frequenza delle stelle cadenti. Dopo ciò, noi dobbiamo nella formazione del valore medio sopra riferito rigorosamente distinguere le stelle cadenti sporadiche da quelle periodiche.

Nello spazio vi sono anche vere nubi di quella polvere cosmica, le quali accidentalmente penetrano nella nostra atmosfera come enormi sciami di zanzare, per ivi scoppiare risplendendo. Queste invasioni in massa di corpi, che nello spazio battono la stessa via, devono evidentemente verificarsi con una determinata regolarità nella distribuzione dei loro percorsi apparenti, della quale noi possiamo in parte darci facilmente una rappresentazione. Supponiamo di trovarci sopra una strada ferrata, lungo la quale alla nostra destra e sinistra corrano parecchi binari in direzione rettilinea; le rotaie, innanzi a noi, sembrano per effetto di prospettiva andare ognora avvicinandosi, fino a riunirsi in un punto lontano lontano. Ora quando di notte tempo vengono verso di noi dei treni, percorrenti i vari binari, a tutta prima si vede solo la luce dei loro fanali, come se fossero riuniti in una superficie brillante. Per quanto i treni si muovano rapidamente verso di noi, a tutta prima noi non avvertiamo questo movimento, e lo facciamo solo quando i fanali vanno lentamente separandosi l'un dall'altro, distaccandosi sempre più verso sinistra e verso destra. Questo distacco va accelerandosi fino a che le luci finalmente passano sibilando ai nostri due fianchi.

Non altrimenti deve manifestarsi l'apparizione delle stelle cadenti periodiche, quando i varii corpi che la costituiscono descrivano veramente nello spazio dei tragitti paralleli, che in ciascun caso procedono direttamente verso di noi. Ciò è confermato pienamente. Infatti, se sopra una carta del cielo si disegnano tutte le orbite apparenti delle stelle cadenti di un cotal sciame, e si prolungano all'indietro, cioè nella direzione dalla quale si videro giungere le meteore, tutte queste linee s'incontrano in un solo e medesimo punto, che è detto il punto radiante. Questo ha, per ciascun sciame periodico, una posizione invariabile fra le stelle fisse. Lo sciame di S. Lorenzo, ad esempio, proviene dalla costellazione di Perseo, per il che le meteore che lo costituiscono sono indicate anche col nome di Perseidi; le stelle cadenti di novembre hanno il loro punto radiante nella costellazione del Leone, esse sono perciò dette Leonеidi. Se si avesse bisogno ancora di altra prova della natura cosmica del fenomeno che stiamo studiando, essa ci sarebbe fornita, nel modo più convincente, dalla posizione invariabile del punto radiante fra le stelle fisse. Mentre infatti tutte le stelle cadenti periodiche di una notte, od anche per sciami più estesi, di parecchie notti successive provengono da questo medesimo punto del cielo, questo partecipa al movimento diurno apparente di tutte le stelle, esso è quindi, come tutte le cose estraterrestri, indipendente dal movimento di rotazione diurno della Terra attorno al proprio asse.

Diamo nella tabella a pagina seguente la posizione di alcuni punti radianti degli sciami di stelle cadenti più conosciuti, riserbandoci di discutere in altro luogo l'importanza dell'indicazione della posizione a mezzo dell'ascensione retta e della declinazione data nella quarta e quinta colonna (*a*).

(*a*) Per più estesi elenchi di punti radianti si possono consultare l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, ed il *Whitaker's Almanak*. L'*Almanacco Italiano* è incompletissimo per questo e molti altri rispetti. (O. Z. B.).

Sciame	Epoca	Maximum	Punto radiante		Scopritore
			Ascensione retta	Declinazione	
Quadrantidi	28 dic. — 4 genn.	2 gennaio	15°,3	52°,5	Heis
Liridi	16-22 aprile	20 aprile	18 ,0	32 ,5	Herrik
Perseidi	11 luglio — 22 agosto	10 agosto	3 ,1	56 ,9	Muschenbroek
Orionidi	9-29 ottobre	18 ottobre	6 ,1	15 ,5	Schmidt
Leoneidi	9-17 novembre	13 novembre	10 ,0	22 ,9	Humboldt
Andromedeidi	25-30 novembre	27 novembre	1 ,7	43 ,8	Brandes
Geminidi	1-14 dicembre	10 dicembre	7 ,2	32 ,6	Greg

Da questa tabella si vede che gli sciami non si limitano sempre ad uno od a pochi giorni, ma che ad esempio le Perseidi sono avvertibili già un mese prima del giorno nel quale toccano il loro massimo.

Dalle discussioni precedenti risulta che il punto radiante di uno sciame di stelle cadenti ci dice qualche cosa sulla direzione prima da esso tenuta nello spazio. Ora poichè, come dimostreremo più tardi, tutti i corpi nel sistema solare descrivono intorno al Sole una sezione conica, così per le stelle cadenti, come per le comete, allo scopo di ottenere una prima approssimazione nella determinazione delle orbite cosmiche di queste meteore è permesso di fare qualche supposizione circa la forma dell'orbita da esse percorsa, adottandone una fra le tre delle sezioni coniche. Si sceglie sempre la forma intermedia, la parabola. La distanza delle stelle cadenti dal Sole al momento della loro apparizione, essendo eguale a quella della Terra, quella ricerca è di molto facilitata; pertanto, colla sola conoscenza del punto radiante di uno sciame, noi possiamo calcolare la sua orbita in tutte le sue parti, prima e dopo il suo incontro colla Terra, e ciò per lo meno con un'approssimazione che è paragonabile a quella della prima determinazione dell'orbita di una cometa. Ma in causa degli inevitabili errori d'osservazione, non si possono nel caso nostro ottenere risultati più esatti.

Ora è risultato che le principali nubi di stelle cadenti camminano lungo le stesse orbite che furono trovate per talune comete periodiche conosciute. Le Perseidi furono quelle che offrirono il primo esempio lampante. Schiaparelli dimostrò che questo sciame cammina lungo l'orbita della cometa 1862 III, la quale, quantunque visibile ad occhio nudo, non era per nulla un oggetto particolarmente rimarchevole. La sua orbita taglia quella della Terra in un punto per il quale il nostro pianeta passa il 10 agosto. La durata della rivoluzione della cometa fu trovata di 123 anni. Ancora più interessante si mostrò tale ricerca per le Leoneidi per le quali si potè provare la coincidenza dell'orbita con quella della cometa 1866 I. Questa cometa era formata da una massa sbiadita, non discernibile per lo più ad occhio nudo, la cui durata di rivoluzione era stata calcolata di 33,2 anni. Ora si verificò che lo sciame di stelle cadenti, per il quale non si poteva in precedenza presupporre alcuna ellisse, doveva anche avere una durata di rivoluzione di 33 anni, poichè ad un tale intervallo le meteore di novembre si riprodussero sempre in modo particolarmente brillante. Quando Humbolt per la prima volta nel 1799 osservò il fenomeno, gli si raccontò che già nel 1766 nell'America centrale se ne era veduto uno simile, e noi sappiamo già che in quei giorni di novembre degli anni 1832 e 1833 caddero di nuovo, in modo non consueto, numerose stelle cadenti. Da ciò

si potè prognosticare fin d'allora per il 1866 la ripetizione di quei celesti fuochi artificiali, che poi si svolse in modo straordinariamente splendido. Questo periodo è confermato anche da indicazioni che furono trovate nelle cronache dei varii popoli, così che anche senza conoscere la causa prima dell'apparizione, noi possiamo con grande probabilità aspettarci la ripetizione del meraviglioso spettacolo per le notti fra l'11 ed il 13 novembre 1899. La conoscenza che abbiamo della stretta dipendenza fra quelle stelle cadenti e la cometa che è esattamente conosciuta per quanto riguarda le condizioni della sua orbita, converte quella probabilità in certezza.

Come devesi intendere la relazione fra comete e stelle cadenti? Lo sciame di agosto ritorna ogni anno, con intensità non di troppo variabile, mentre la cometa corrispondente ha una rivoluzione della durata di 123 anni. Anche le meteore di novembre si mostrano ogni anno, ma con una densità talvolta insolitamente aumentata. Noi possiamo chiarire i fatti solo pensando che lungo l'estesa ellisse dell'orbita della cometa, sulla quale si muovono le Perseidi, i loro singoli corpuscoli si siano distribuiti abbastanza regolarmente, così che si trovi su quella un anello ellittico di stelle cadenti, che interseca l'orbita terrestre, e che la Terra deve attraversare ogni volta il 10 agosto. Per le Leoneidi per contro, in un punto dell'orbita deve esistere una forte agglomerazione di stelle cadenti, che s'incontra colla Terra ogni 33 anni, mentre lungo il rimanente di essa devono trovarsi dispersi dei corpuscoli separati di stelle cadenti. D'altronde anche le Perseidi dànno a divedere fluttuazioni nella frequenza, periodiche sebbene non molto spiccate, dalle quali Rodolfo Wolf (Zurigo) credette di poter conchiudere all'esistenza di 13 nubi separate, lungo quest'anello.

Pertanto, le stelle cadenti delle quali noi vediamo ogni anno le pioggie periodiche, non possono essere identiche colle comete, ma stanno con esse in una certa dipendenza che noi dobbiamo scoprire. Per contro sarebbe pur possibile che la densa nube che noi fra le altre incontrammo nel novembre 1866, quando la cometa corrispondente era apparsa del pari, fosse realmente una parte della cometa. Ora Schiaparelli ha dimostrato, che se i nuclei delle comete consistono realmente in tali agglomerazioni di piccoli corpi, esse debbono di necessità, per l'effetto della forza generale d'attrazione che emana dal Sole, e che si può constatare in tutte le parti, risolversi poco per volta in un anello di stelle cadenti, che possiede all'incirca tutte le proprietà dell'anello delle Perseidi. Questo processo di dissoluzione richiede però un tempo abbastanza lungo. Da ciò noi dovremmo conchiudere che la cometa III del 1862 appartiene già da molto tempo al nostro sistema solare, poichè le stelle cadenti si sono sparse sulla lunghezza della sua orbita abbastanza regolarmente e quindi non troppo addensate. La frequenza oraria delle Perseidi oscilla fra 30 e 150 cadute di stelle. Ma anche lungo l'orbita dello sciame delle Leoneidi, astraendo dalla condensazione od agglomerazione ricordata, i singoli corpi sono distribuiti abbastanza regolarmente, ed anche molto più densi che nello sciame d'agosto. Anche qui pertanto pare che il lavoro di dissoluzione sia già molto avanzato. Quindi, in questo caso, l'agglomerazione sarebbe da riguardarsi come un vero pezzo della cometa, che si staccò da essa in rivoluzioni anteriori, come già dicemmo essere avvenuto per altre (V. pag. 223).

Questa supposizione della reale unità di essenza cogli sciami di stelle cadenti,

almeno delle comete telescopiche senza nucleo, e nebulari, fu confermata in modo splendido ed inatteso dal presentarsi di quelle meteore che son dette Andromedeidi. Si era al 27 novembre 1872, quando avvenne improvvisamente una pioggia di stelle cadenti insolitamente abbondante, che in Europa ed altrove attrasse l'attenzione di tutti i popoli. L'autore ebbe occasione di osservare il meraviglioso spettacolo dall'Osservatorio di Gottinga nell'intervallo tra le 8 e le 11 di sera. In due ore e tre quarti, egli, con un amico, contò 7651 stelle cadenti, quindi in media ne cadde una ogni minuto secondo. La frequenza oraria risulta quindi per un osservatore di circa 1400, contro 13 apparizioni di stelle cadenti, che per quell'epoca davano prima la frequenza media. Ottanta delle più lucide orbite di meteore furono in Gottinga disegnate sopra una carta celeste, dalla quale risultò che il punto radiante si trovava nella costellazione di Andromeda, in concordanza con quanto avevano ottenuto altri osservatori.

Partendo da ciò Klinkerfues, allora direttore dell'Osservatorio di Gottinga, calcolò l'orbita cosmica della nube di stelle cadenti, penetrata così bruscamente nella nostra atmosfera, e si fece allora manifesta la coincidenza di quell'orbita con quella della cometa di Biela che fin dal 1856 era stata perduta. Dopo ciò non era più dubbia la dipendenza e correlazione dei due fenomeni. Ma Klinkerfues volle cercare di stabilire, se realmente in quell'occorrenza era venuto a contatto colla Terra un pezzo della cometa; ciò era presumibile, poichè negli anni precedenti non era stata osservata nel giorno 27 novembre alcuna frequenza particolarmente distinta di stelle cadenti, sebbene in tal giorno, come avevano già avvertito Littrow ed altri, la Terra passasse per il punto d'intersezione della sua orbita con quella della cometa di Biela. L'urto di questo corpo celeste colla Terra era stato pronosticato per quella data di un anno allora non ancora determinato. Ora era esso realmente avvenuto? Questa era per fermo una questione molto interessante, che probabilmente poteva venir decisa in quella circostanza. Se la nube di stelle cadenti, veduta da lontano, si mostrava realmente come una cometa, essa doveva ancora subito dopo il suo incontro colla Terra apparire come una cometa, nella direzione opposta a quella dalla quale la si era vista giungere. Questa direzione doveva evidentemente essere in cielo diametralmente opposta al punto radiante, e rivolta al così detto punto di convergenza, nel quale le orbite delle stelle cadenti dovrebbero tutte di nuovo concorrere, quando le si potesse seguire, al di là della nostra atmosfera. Questo punto di convergenza è, pur troppo, nel caso delle Andromedeidi, in una regione del cielo invisibile dalle nostre latitudini. Quindi per poter decidere la questione, Klinkerfues dovette allora telegrafare ad un osservatore posto più al Sud. Il relativo dispaccio fu spedito a Madras il 30 novembre, ma solo nella sera del 2 dicembre venne fatto a Pogson di poter esaminare il luogo indicato, ove egli trovò subito una cometa con una coda lunga 8 minuti. Si potè tener dietro alla cometa fino alla spuntare del giorno e la si trovò dotata di un movimento notevole, che corrispondeva alla supposizione che essa fosse identica con quello sciame di stelle cadenti. Ma sgraziatamente il tempo fu cattivo nei giorni seguenti, e non si potè ulteriormente tener dietro alla cometa. Ora, poichè per constatare l'identità dell'orbita di una cometa con quella di una cometa nota è necessario di avere tre osservazioni dell'oggetto corrispondente, fra le quali intercedà almeno un giorno, così non fu possibile di affermare con sicurezza matematica

che la cometa veduta sia stata realmente una porzione della cometa di Biela; ma almeno fu provato che lo sciame di stelle cadenti apparso dopo il suo allontanamento da noi si era prospettivamente trasformato in quel corpo di natura cometaria, non potendo attribuirsi ad un mero e cieco caso il fatto che appunto in quella notte ed in quel punto di convergenza si sia trovata una cometa, che non stava in relazione alcuna collo sciame, e che pur tuttavia si allontanava dalla Terra tanto rapidamente, come avrebbe dovuto fare se si fosse trovata nella dipendenza sospettata.

Alcuni astronomi però andarono allora troppo avanti. Gli astronomi sogliono spesso disconoscere i giudizi dimostrativi, che in quasi tutte le altre scienze vengono ritenuti come pienamente valevoli, e perciò, quando non è possibile di tenere altra via matematica che quella, restano troppo facilmente, esageratamente scettici. Ma anche codesti dubitosi dovevano essere poi meglio ammaestrati dalla splendida riapparizione dello sciame, precisamente 13 anni dopo, il 27 novembre 1885. Questa volta essa fu annunziata in precedenza. La cometa di Biela ha una rivoluzione della durata di 6 anni e mezzo; quindi il 27 novembre 1872 essa si trovò vicina alla Terra per produrre quella pioggia meteorica, e 6 anni e mezzo dopo essa era di nuovo nel medesimo punto dell'orbita terrestre, ma la Terra in quell'istante si trovava nel punto diametralmente opposto, lontana dalla cometa di ben 300 millioni di chilometri. Dopo due rivoluzioni di quest'ultima i due corpi dovevano di nuovo ritornare assieme a quella posizione critica. L'imponente pioggia di stelle cadenti, che in quella sera meravigliò tanta gente, doveva dimostrare la giustezza delle conclusioni. La frequenza delle meteore fu questa volta ancora maggiore che nel 1872. In Upsala, ad esempio, in quella notte di novembre si noverarono ben 40.844 stelle cadenti; ed in un solo quarto d'ora del massimo 4422, ossia 5 al secondo. In Grecia un osservatore dice di averne contate da 40 a 50 in un minuto secondo, ed il barone von Tucher, che osservava il grandioso spettacolo dal suo osservatorio privato in Malta, credette di dover conchiudere dai suoi computi, che sotto il puro cielo del suo luogo d'osservazione, durante i 20 minuti del massimo, se ne sarebbero potuto contare per tutto l'orizzonte 9000. Egli vide pure 39 bolidi, che avevano lo splendore di Venere; la loro luce era generalmente bianca, in taluni però anche gialla e verdastra. Molti lasciaronsi dietro uno strascico luminoso, ed uno di essi si contorse come un serpente, davanti agli occhi dell'osservatore meravigliato, finchè roteando andò in pezzi.

Tutti i giornali diedero immaginose descrizioni dello straordinario e grandioso spettacolo. È particolarmente viva la rappresentazione che ce ne è fornita da un osservatore sul lago Wolfgang. " L'annunziata caduta di stelle cadenti „, così scrive egli, " avvenne il giorno di venerdì 27 novembre, fra le 6 e le 8 di sera, con un'intensità non mai vista qui a memoria d'uomo. Letteralmente, nevicava fuochi d'artificio meteorici, ed il tutto si mostrava come uno splendido e raro prodigio di natura. Il più puro cielo immaginabile, seminato di stelle, mentre l'aria era perfettamente immobile. Al di sotto il lago liscio come uno specchio, che rispecchiava tutto il firmamento. Il quadro poi incorniciato dai colossi oscuri dei monti dai profili taglienti, e per entro a questo maestoso spazio brillavano migliaia di falde meteoriche splendenti, che in forma di scoppianti razzi, gettavano

i loro sprazzi di fuoco in grandi e serpeggianti curve lucenti sul fondo cupo del cielo. Tutta la popolazione di questo luogo era in movimento „.

Le stelle cadenti del 1885 provenivano dal medesimo punto radiante di quelle del 1872, il che dimostrò matematicamente che queste due apparizioni appartenevano ad un medesimo sciame. Inoltre la rivoluzione di questo sciame doveva avere una durata di 13 anni o di un multiplo di un tal numero. Con ciò è fornito un nuovo argomento per la determinazione del punto radiante dello sciame e della vera sua orbita, e si potè fare una scelta determinata per la forma della sezione conica. Se ora si prende la durata della rivoluzione di $13 : 2 = 6\,^1/_2$ anni, allora colla conoscenza del solo punto radiante, si può senza l'ipotesi arbitraria e prima necessaria di una forma parabolica, calcolare rigorosamente l'orbita. In questo modo l'autore ottenne i numeri seguenti, la cui speciale importanza può solo venir discussa nella parte teorica del nostro libro, ma la cui coincidenza coi numeri corrispondenti dati nell'ultima colonna per l'apparizione della cometa di Biela nel 1852, e la concordanza delle due orbite determinate da questi numeri, riesce visibile.

	1885	1872	1852
Nodi	245,55	245,55	246,19°
Inclinazione	12,35	12.40	12,33°
Perielio	111,32	110,7	109,36°
Minima distanza	0,8570	0,8662	0,8608
Eccentricità	0,7544	0,7518	0,7559
Rivoluzione	6,52	6,52	6,62 anni.

Se a questa identità indubitabile si aggiungono i due fatti, primo, che la cometa di Biela non è più stata veduta di poi, e che di essa non si potè mai rintracciare alcun altro vestigio che questo sciame di stelle cadenti; secondo, che negli altri anni al 27 novembre si presentano solo meteore separate, che s'inquadrano nella stessa orbita, così da provare che nell'anello esiste unicamente quell'unica condensazione, allora si giunge almeno con un giudizio dimostrativo alla coincidenza dello sciame con una parte della cometa periodica di Biela che fin dal 1846 si doveva ritenere, con assai fondamento, decomposta. Frattanto questa decomposizione progredisce manifestamente innanzi: noi riconosciamo ciò da questo, che alla fine di novembre 1892 le stelle cadenti si videro di nuovo, più numerose del solito, emanare dal punto d'irradiazione dello sciame delle Andromedeidi, sebbene la loro frequenza sia di gran lunga rimasta inferiore a quella di quel memorabile giorno. La cometa allora, dopo aver compiuto dal 1885 un'intiera rivoluzione, era passata da un semestre per il punto critico dell'orbita terrestre. A quel tempo, lo sciame si era già così manifestamente disteso in lunghezza, che i suoi ultimi ritardatari si affrettavano ad attraversare l'orbita terrestre, quando la vera nube si era già molto allontanata di là. Ma l'apparizione aveva in quell'anno anticipato solo di quattro giorni, il che Berberich e Bredichin chiarirono a mezzo di perturbazioni, che nel frattempo Giove doveva avere apportato alla cometa.

Pertanto la profezia di Schiaparelli, espressa nella sua *Teoria delle stelle cadenti*, apparsa nel 1866, che nel dimostrare la connessione fra le comete e gli sciami di stelle cadenti, parlò della cometa di Biela, e così si espresse: " Se anche nell'avvenire essa non sarà in realtà più riveduta, gli astronomi riusciranno già

a ciò, di sapere che cosa ne sia avvenuto „: si avverò tanto presto, quanto era possibile aspettarselo, poichè noi sappiamo che già Littrow aveva nei trent'anni predetto l'incontro della cometa di Biela colla Terra, giustamente per il 27 novembre, ma solo per l'anno 2115. L'errore era provenuto dall'avere a torto ammessa una certa durata di rivoluzione, che nel frattempo era stata essenzialmente alterata da perturbazioni imprevedute. Così, già fin dal 1872, noi fummo testimoni oculari dell'incontro della Terra con una parte di questa cometa, prima d'allora tanto temuto. Tutto quanto noi allora provammo, si fu la delizia di assistere ad uno dei più grandiosi e più attraenti spettacoli che il cielo stellato ci possa offrire.

Pertanto nelle raccolte dei nostri musei di storia naturale noi possediamo dei pezzi di quelle comete, che ancora non è gran tempo erano le creature più misteriose del cielo, e da questi saggi di corpi celesti noi vediamo che la nostra Terra è ad essi intimamente affine, almeno per quanto riguarda le sostanze elementari colle quali essi furono fabbricati. Riassumiamo le nostre cognizioni sulla natura delle comete, per delinearne uno schizzo d'assieme. Vediamo prima di tutto che le comete sono corpi materiali, che seguendo la legge della gravitazione universale, circolano attorno al Sole. Il loro nucleo consiste di parti solide, però così che probabilmente non formano un tutto, ma bensì un conglomerato di pietre meteoriche e di corpuscoli di stelle cadenti, e quei nuclei sono circondati da un'atmosfera di gas idrocarburati e di ossido di carbonio. Questo è prima di tutto l'involucro, nel quale spesso il nucleo si nasconde completamente, segnatamente quando la cometa è ancora a grande distanza dal Sole.

Ma non appena il corpo così complesso della cometa si è sufficientemente accostato al Sole, così da ricevere sulla parte ad esso rivolta delle energiche impressioni, allora su questa parte esposta si manifestano delle potenti emanazioni di gas, verso il Sole. Da prima si converte in vapore la sostanza idrocarburata, come avviene anche nei meteoriti che noi abbiamo esaminato in quel senso nei nostri laboratorii. Con un riscaldamento ancora più intenso, che si produce col crescere della vicinanza, si evapora il sodio, e finalmente anche, come solo nel caso osservato finora della cometa del settembre 1882, il ferro, che forma la parte costituente principale di un gran numero di meteoriti, e quindi anche a seconda della nostra esperienza, non può mancare neppure nelle comete. In questi violenti processi sono inevitabili delle dilatazioni e delle tensioni: noi vediamo le comete mutarsi rapidamente ed in conseguenza del repentino scattare di tali tensioni andar soggette ad insolite luminosità oscillanti. Può anche non escludersi che dei frammenti separati sui quali si esercita solo debolmente l'attrazione del nucleo possano venir spinti all'infuori. Se ciò avviene con forza non troppo grande, allora questi frammenti si sparpaglieranno lungo l'orbita e concorreranno a popolare quell'anello di stelle cadenti, che deve essersi formato in causa del lavoro regolare della forza d'attrazione e del graduale estendersi in lunghezza del nucleo. Ma se quella emissione è prodotta da potenti esplosioni che nelle rapide variazioni di temperatura sono inevitabili nelle comete che si accostano molto al Sole, allora a quei pezzi vengono comunicate delle velocità che sono notevolmente diverse da quelle di un corpo celeste sottoposto unicamente all'influenza dell'attrazione solare. I corpi, resi così liberi, imprendono, in certe circostanze,

a descrivere anche delle orbite iperboliche, quali furono constatate in alcune meteore di maggiori dimensioni; esse quindi, penetrando nella nostra atmosfera con velocità più che planetaria, dovevano venir riguardate come messaggeri provenienti dalle più lontane regioni fuori del sistema solare. Che nelle comete agiscano forze di questa natura è provato dalla loro divisione.

Fino a questo punto i fenomeni presentati dalle comete, si poterono dedurre come conseguenze naturali dall'osservazione. Ma la cosa diviene ben altrimenti difficile anche nello stato attuale delle nostre cognizioni, quando si tratta della formazione della coda. Vedemmo che i gas delle comete, prima sospinti verso il Sole, ad una certa distanza dal nucleo, compiono un movimento di rotazione, giacchè essi, a differenza di tutte le rimanenti forme materiali, vengono allora potentemente respinti dall'astro centrale. Si genera allora da ciò la coda, che sembra essere qualche cosa di incorporeo, poichè con dimensioni che non sono neppure lontanamente toccate da alcun altro corpo celeste appartenente al nostro sistema, non sembra esercitare alcun'altra azione all'infuori di quella delle impressioni luminose sul nostro occhio. Questa misteriosa appendice è anche completamente trasparente.

Se noi ricorriamo all'aiuto dell'esperienza terrestre, noi possiamo immaginare la menzionata ripulsione prodotta solo da forze elettriche. Ed infatti il modo particolare con cui si diedero a vedere allo spettroscopio quelle comete che trovandosi vicine al Sole, mostrarono improvvisamente la linea del sodio, ha reso molto probabile la presenza di potenti scariche elettriche almeno nel nucleo. Le potenti emanazioni, che prima della formazione della coda erompono dal nucleo, debbono senza dubbio separare l'una dall'altra le due elettricità, a quel modo medesimo che si osserva nella macchina elettrica a vapore. Ogni efflusso di vapore che si frega contro l'apertura di efflusso, persino l'acqua di ogni caduta d'acqua, genera elettricità. Se ora, ad esempio, il gas effluente è carico negativamente, mentre l'elettricità negativa rimane indietro nel nucleo, per poter spiegare la repulsione che pare esercitata dal Sole, bisognerebbe attribuire al Sole un'emanazione di elettricità negativa. Ma una tale azione elettrica solare a distanza si può dimostrare sulla Terra, come vedremo più da vicino nel capitolo sul Sole (V. p. 286).

Bessel per il primo, poi Zöllner nel suo lavoro sulla natura delle comete, e per ultimo Bredichin, hanno minutamente investigato come dovrebbe comportarsi la materia cometaria nella supposizione di una tal forza ripulsiva, e quali segni esterni se ne dovrebbero scorgere nelle comete. Il lavoro fondamentale di Zöllner dimostrò innanzi tutto l'indubitabile presenza di una forza ripulsiva; però essa dovrebbe manifestamente agire in modo diversamente intenso per differenti comete, od anche per stadi diversi della cometa medesima. Talvolta questa ripulsione avvenne con forze veramente enormi; così la cometa Donati del 1858 emise quella coda a raggi, che si dipartiva in linea retta dal nucleo (vedi fig. 111) gettandola nello spazio celeste con una velocità di circa 180 km. al minuto secondo. Bredichin cercò di dedurre la grandezza di questa ripulsione dalla forma della coda. Gli venne poi fatto di ordinare tutte le comete con code conosciute, in tre tipi nettamente distinti, cioè quelle con code direttamente opposte al Sole, quelle con code opposte ma incurvate, e finalmente quelle con code rivolte al Sole. Tutti e tre i tipi si possono riscontrare in una medesima cometa contemporaneamente o

successivamente; ad esempio nella cometa Donati erano contemporaneamente presenti il primo ed il secondo tipo. Al primo tipo appartengono essenzialmente le comete con distanze perielie molto piccole, come quelle del 1843 e 1882. Il secondo tipo è quello comune, ed è nelle nostre figure rappresentato dalla cometa 1881 III; il terzo tipo per contro è molto raro. Che questa forma della coda debba dirci qualche cosa sulla forza motrice che agisce in essa, appare già da ciò che la curva che descrive una pietra lanciata obliquamente deve dipendere dalla forza colla quale essa fu scagliata. Ora nel primo tipo si trovò che la forza repellente è circa 11 volte maggiore della forza d'attrazione che il Sole esercita d'altronde sopra tutti i corpi del suo dominio; nel secondo tipo la ripulsione è di poco maggiore dell'attrazione, eguale a circa 1,4, questo nel terzo tipo per contro solo 0,3.

La causa di questa differente ripulsione vuole cercarsi nella disuguale composizione materiale della cometa; naturalmente le sostanze più leggiere saranno da una medesima forza respinte più energicamente di quelle più pesanti. Così, ad esempio, le code del primo tipo potrebbero constare dell'idrogeno molto leggiero, che certamente deve essere presente in quantità relativamente assai grandi nel nucleo delle comete. Scheiner fece osservare che i pesi atomici dell'idrogeno e degli idrocarburi, che lo spettro delle comete rivela direttamente, stanno fra di loro quasi nello stesso rapporto delle forze repulsive per i due primi tipi, come 11 a 1,3. In questa supposizione, le code rivolte al Sole sarebbero formate di sostanze ancora più pesanti, di vapori metallici.

Tutte le difficoltà che le meravigliose code delle comete opponevano alla loro spiegazione, non sono però ancora scartate a mezzo dell'ipotesi di questa forza repulsiva. Infatti, se da una parte noi vediamo in azione una potente forza, che può distendere sopra uno spazio di millioni di chilometri la materia che fuisce dal nucleo, tuttavia rimane ancora misterioso come questa coda enorme splendente e nettamente definita possa sembrare così intieramente immateriale. Non solamente si pronunzia in questo senso la sua completa trasparenza, ma anche ed in modo particolare, la considerazione che se il nucleo perdesse materia, perdita che in realtà apparisce essere in ragguardevole proporzione rispetto alla massa di esso, d'altronde assai piccola, dovrebbe verificarsi un'azione di rinculo, che avrebbe un'influenza ben distinta sul movimento della cometa. Così Bessel ha calcolato che la cometa di Halley, nella supposizione di una perdita quotidiana di un millesimo della sua massa, durante la formazione della sua coda, in causa della reazione di questo efflusso sul suo movimento, avrebbe dovuto ritornare 2 o 3 anni prima di quello che realmente avvenne. La puntualità quasi assoluta poi di questa massima fra le comete periodiche, dimostra ancora che per i nostri metodi di ricerca la coda deve veramente venir denominata, secondo l'espressione di Babinet, "un nulla visibile". Pare quasi che su questi misteriosi fenomeni l'ultima parola di spiegazione debba venir detta dall'elettricista a mezzo di esperimenti nel suo laboratorio. In questo, a dire il vero, già oggi si producono fenomeni meravigliosi in tubi, il cui interno è portato in condizioni tanto prossime a quelle dello spazio cosmico quasi assolutamente vuoto, quanto lo può fare l'arte umana. Se si fanno attraversare cotali tubi per raggi catodici da scariche elettriche, dalla parte negativa del conduttore, il catode, si vedono irradiazioni di particelle luminose, che in certe circostanze, come mostrò in modo speciale Goldstein in Berlino,

sono molto simili ai fenomeni delle code delle comete. Anche queste code artificiali di comete, per quanto noi possiamo giudicarne, sono immateriali, e tuttavia, per provocare le impressioni della luce, è pur d'uopo che in essi vibri della materia.

Norberto Herz (Vienna) tiene per non impossibile che avvengano scariche elettriche direttamente dal Sole verso le comete, scariche che trovano un mezzo di propagazione nello spazio ripieno in modo relativamente denso di polvere cosmica e di corpuscoli di stelle cadenti e reso perciò conduttore. Se noi riguardiamo l'elettrodo negativo come la testa di una cometa, i raggi catodici in concordanza con quei corpi celesti mostrano una ripulsione dei raggi verso la parte opposta. Poichè sotto tutte le circostanze il trasmettitore di queste scariche deve essere la materia, così anche quando si riguardino le code solo come fenomeni essenzialmente elettrici, i tipi di Bredichin si possono spiegare ammettendo che sotto l'azione delle diverse materie, le quali vengono cacciate fuori dal nucleo, la conduttività dello spazio sia modificata. Ma in questo rispetto le indagini non sono ancora chiuse.

Noi possiamo dirci però ben avventurati che oggi quelle vagabonde ed erranti celesti parvenze, che ancora un secolo fa presentavano in ogni loro apparenza un mistero, e che ancora or non è molto tenevano gli uomini in ansia quasi continua, ci siano conosciute così da vicino quanto tutte le altre cose ultraterrene. Noi abbiamo nelle nostre mani dei pezzi di esse, noi conosciamo la loro composizione più sicuramente di quanto ci ha rivelato intorno agli altri corpi celesti la testimonianza della luce, noi sappiamo che anche questi esseri poco compatti, frantumabili, dissolventisi, che corrono a noi da profondità sconosciute, sono soggetti alle leggi immutabili che mantengono intatto il bell'ordine del nostro sistema planetario, e che quando una di esse attraversa realmente il cammino alla Terra, invece di tremare pel terrore della fine del mondo, godiamo dello spettacolo sovranamente bello di una pioggia di fuoco. Così la morta materia, che errava nel buio spazio cosmico senza scopo apparente, si riunisce di nuovo fiammeggiando ad un mondo abitato, e può cooperare ai grandi còmpiti che nel ciclo dell'eterno divenire si affacciano a noi nella concezione intelligente di questo alto ordinamento di tutte le cose.

[Il capitolo precedente contiene alcune affermazioni non del tutto rigorose e che hanno d'uopo di essere alquanto modificate, per corrispondere ai fatti accertati nello stato attuale della scienza. Così a pagina 271 leggiamo il seguente periodo: " Questo (punto radiante) ha, per ciascun sciame periodico, una posizione invariabile fra le stelle fisse „. Questa affermazione non va presa alla lettera, giacchè ad esempio per le Perseidi, come videro Twining, Le Verrier ed altri, lo spostamento regolare del loro radiante durante sei settimane consecutive, è messo fuori di dubbio dalle osservazioni di Denning. Altri sciami di lunga durata, i cui radianti occupano un'estensione di 20° o 30°, si mostrano verso la metà d'ottobre, il principio di dicembre e la fine di gennaio, ma i loro radianti non presentano uno spostamento tanto regolare. Secondo Schulhof (*Bulletin Astronomique*, tomo XI, 1894, p. 407), questo spostamento successivo dei radianti negli sciami di stelle cadenti di lunga durata, non potrebbe venir spiegato colla teoria di Schiaparelli. A questo riguardo sono importanti i lavori di Callandreau, Weiss, Kleiber, Tupman.

Niessl ed altri, sui quali l'indole del presente Trattato non ci permette di trattenerci più a lungo. Sono però da menzionarsi in modo speciale i profondi studi dell'astronomo russo Bredichin, che vede l'origine delle stelle cadenti nelle code anomale delle comete. Queste code anomale sono quelle descritte nel testo e che le comete presentano rivolte al Sole. Secondo Bredichin (*a*) le code anomale sono costituite da corpuscoli relativamente troppo grossi e troppo pesanti, per poter venir trascinati dalla forza ripulsiva del Sole, nella direzione delle code normali. Questi corpuscoli ad un dato momento hanno ricevuto un urto, un'impulsione verso il Sole, nella direzione della retta (raggio vettore) che congiunge il Sole colla cometa, o sotto un certo angolo con questa. Staccati dal corpo della cometa, essi percorreranno un'orbita affatto indipendente con una velocità più o meno modificata. Le emissioni di materia verso il Sole non saranno sempre abbastanza dense, così che noi possiamo discernerle come code anomale; noi siamo tuttavia autorizzati a riguardarle non come eccezionali, ma come piuttosto frequenti. Una stessa cometa di orbita parabolica, potrà avere nei pressi del suo passaggio al perielio, successivamente parecchie emissioni di materia dal nucleo, una parte di queste descriverà delle iperboli, l'altra delle ellissi. Una sola cometa può così, colle sue emissioni successive dal nucleo, dare origine a molti ammassi di corpuscoli. Siccome queste emissioni si verificano per lo più entro una sfera avente per raggio l'unità astronomica delle lunghezze, la distanza media cioè tra la Terra ed il Sole, e siccome il numero delle comete che possono produrle è molto grande, questa ipotesi spiega assai bene come tanti sciami di stelle cadenti, quanti ne constata l'osservazione, attraversino il cammino della Terra, e producano le continue cadute di stelle. Così resta appianata una delle maggiori obbiezioni alla teoria di Schiaparelli.

Faye, Tisserand, Proctor, Ball ed altri, seguendo un'idea di Lagrange, accolsero l'ipotesi secondo la quale le comete sarebbero prodotte da esplosioni violente avvenute sui pianeti, esplosioni che sarebbero avvenute all'origine a varie riprese, ed avrebbero proiettato nello spazio dei materiali cometari. Queste esplosioni sarebbero state provocate dall'azione del calorico che il passaggio dallo stato aeriforme allo stato solido avrà concentrato nel loro interno. Lagrange riteneva che questa ipotesi forse più conforme all'ipotesi cosmogonica di Laplace, che non quella che le comete fossero di origine estranea al sistema.

La menzionata supposizione esige imperiosamente che tutte le comete passino o siano passate in un dato momento vicino all'orbita di un grande pianeta. Ora, esiste un gran numero di comete che non soddisfano a questa condizione. Si è perciò che Faye e Tisserand dichiarano inaccettabile l'ipotesi di Lagrange sull'origine delle comete. A questo riguardo il signor Schulhof, scrive quanto segue (*Bulletin Astronomique*, settembre 1898): " A nostro parere, l'ipotesi di Lagrange merita ancora, con certe modificazioni, di essere presa in seria considerazione. Quando si accettano le idee di Laplace, è impossibile il non pensare che la formazione di ciascun pianeta dovette essere accompagnata da esplosioni di una violenza estrema, che hanno lanciato della materia in tutte le direzioni. Ma si può andare più lontano e dire

(*a*) Nell'ortografia del nome Bredichin seguimmo Meyer; altri più conformemente all'autore " alla lingua russa scrivono Bredikhine. (O. Z. B.).

che di simili esplosioni dovettero pure avvenirne in ogni tempo nell'enorme globo gasoso che ha formato il Sole, e più particolarmente verso le epoche nelle quali i pianeti si staccarono da quel globo. Non potrebbesi ammettere che certe comete provengono da esplosioni su questi pianeti, ed altre da materie eruttate dal Sole stesso? Era l'opinione del signor Proctor, che ammise anzi un terzo gruppo di comete, dovute ad esplosioni avvenute su altre stelle diverse dal Sole. Così in parte la pensa il signor Schaeberle, che ha di recente stabilito una teoria secondo la quale tutte le comete sarebbero state lanciate dal Sole „.

Contro questa ipotesi di Lagrange così modificata, avverte il signor Schulhof, si sollevano due formidabili obbiezioni: 1° che si dovrebbe in essa ammettere forze d'impulsione in quelle esplosioni, d'una intensità straordinaria; 2° che le comete periodiche si dividono e si disgregano facilmente e che almeno due di esse si sono dileguate in meno di cento anni.

L'origine delle comete è quindi pur sempre un mistero, e la teoria delle stelle cadenti non è certo completa. Perchè mai dunque l'autore afferma recisamente l'identità delle stelle cadenti cogli aeroliti? Egli scrive infatti: " Noi possediamo nelle nostre raccolte di storia naturale dei pezzi di comete, che ancora poco tempo fa erano le creature più misteriose del cielo, e da questi saggi di corpi celesti, noi vediamo, che almeno per rispetto alle sostanze elementari delle quali esse sono composte, esse sono intimamente affini alla nostra Terra.

" Noi abbiamo nelle mani dei pezzi di esse (comete), ne conosciamo la composizione, più sicuramente di quanto ci sia rivelato intorno agli altri corpi celesti dalle attestazioni dei raggi luminosi „.

Queste affermazioni, come già fece osservare l'astronomo tedesco Berberich, dimostrano chiaramente che l'Autore ritiene come provata l'identità degli aeroliti che noi possediamo nei nostri musei, con frammenti di comete e quindi colle stelle cadenti. Ora nello stato attuale della scienza quell'identità non è certa; intorno ad essa regna per contro grande incertezza, e la connessione fra le stelle cadenti e gli aeroliti è ancora da discutersi in modo definitivo. L'illustre nostro Schiaparelli stesso, che a questo riguardo è una delle autorità maggiori, rimase molto indeciso circa la decisione a prendersi. Il signor Stanislao Meunier scrive: " Le condizioni straordinariamente complesse che suppone la costituzione dei meteoriti sono assolutamente incompatibili coll'ipotesi di un'origine cometaria „. Alcuni dotti con Meunier medesimo vorrebbero che i meteoriti fossero il prodotto della distruzione di un solo astro, adducendo, fra le altre, la ragione della grande uniformità di struttura che è provata dalla loro analisi chimica e micrografica. Lo spazio non ci consente di diffonderci maggiormente su questo argomento. Rimandiamo chi sia desideroso di più ampia istruzione agli scritti del signor Schulhof nel *Bulletin Astronomique* pel 1894 e 1898, nei quali troveranno estesa bibliografia dell'argomento, e l'esposizione dello stato attuale della questione. Esso si può così riassumere: Nulla di definitivamente certo si sa sull'origine delle comete e dei meteoriti, nè sulla loro connessione. Pare accertato che le stelle cadenti sono il prodotto della disgregazione delle comete. (O. Z. B.)].

Aspetto piramidale della luce zodiacale.

Disegno originale di H. Harder.

12. — La luce zodiacale.

Quasi ogni notte sotto i tropici, e da noi solo in rare circostanze favorevoli e ad un occhio attento e pratico, si mostra un pallido bagliore in forma di piramide, che si eleva sull'orizzonte, che si stacca dal fondo cupo del cielo, e che in tutto il suo assieme può paragonarsi solo, fra tutti gli altri fenomeni del firmamento stellato, ad una gigantesca debole cometa. Apparentemente inconsistente del pari e trasparente attraversa le costellazioni dello zodiaco, tra le quali esso si mostra esclusivamente, e donde trasse il suo nome di luce zodiacale; come quella delle comete è rimasta misteriosa la sua natura.

Nella qui annessa tavola è riprodotta la parte di tutto il fenomeno che più colpisce, e che perciò è più di frequente visibile nelle nostre contrade. L'asse maggiore della piramide di luce s'inclina sull'orizzonte a seconda della posizione dello zodiaco rispetto all'orizzonte medesimo del luogo d'osservazione, posizione che è mutabile colle stagioni. Perciò solo sotto i tropici esso può lanciarsi quasi per diritto; presso di noi lo zodiaco solo in primavera ed in autunno si eleva abbastanza, per innalzare le sue costellazioni al disopra dei vapori dell'infima atmosfera e rendere così avvertibile, ancora da noi, lo scuotimento luminoso di questa parvenza. Ma poichè già in marzo, il crepuscolo s'avanza nella sera e comincia a disturbare le osservazioni, così il mese più propizio all'osservazione della luce zodiacale è febbraio.

Se in quell'epoca ci troviamo su di un campo aperto, dove nè il velo di vapori di una città vicina, nè la luminosità di una luce estranea disturbino il nostro occhio, se non vi è Luna e se le condizioni atmosferiche sono favorevoli, si vede quasi sempre quell'apparizione a quell'epoca inclinata verso sinistra. Essa è più luminosa presso l'orizzonte, sebbene ciò non possa sempre apparire distintamente a causa dei vapori che sempre s'addensano in quelle basse regioni dell'atmosfera. Questa porzione più lucida e larga della piramide sovrasta a quella regione del cielo, dove il Sole è tramontato. Mal definita e con contorni evanescenti, quella luce sempre diminuendo di larghezza e di luminosità si diffonde attraverso alle costellazioni dei Pesci, della Balena e dell'Ariete, finchè ridottasi quasi a cuspide si perde all'incirca nei dintorni delle Pleiadi e delle Iadi, quei ben noti gruppi di stelle caratteristici del cielo invernale. La luce zodiacale, non si diparte mai dallo zodiaco, l'asse longitudinale della piramide di luce è sempre diretto al Sole che si trova sotto l'orizzonte. Quella parvenza è nota sotto tale aspetto da più di due secoli, e probabilmente già gli Egiziani adoravano questa luce nei primi periodi della loro storia in unione al loro dio solare.

Occasionalmente si nota che la piramide non ha verso l'alto alcun limite definito, ma si protende a mezzo di un ponte di luce lungo lo zodiaco, quasi fino al punto opposto dell'orizzonte. Ciò fu per la prima volta osservato con sicurezza da Humboldt nel marzo del 1803 nella cintura tropicale del Mare Atlantico. Egli vide che quella parvenza assumeva anche ad oriente la stessa forma piramidale che le si conosce per l'occidente, ma che solo era più debole. Finalmente i dati d'osservazione intorno a questa luce misteriosa furono completati dalla scoperta

di quella che fu chiamata *(Gegenschein) splendore opposto* (*a*), che Brorsen vide per la prima volta nel 1854. Risulta infatti, che il ponte di luce che attraversa tutto il cielo, ha precisamente un minimo d'intensità dietro al vertice della piramide, e che quindi aumenta di nuovo in luminosità fino a quel punto dell'orizzonte diametralmente opposto a quello nel quale il Sole sta in quel giorno. Qui si presenta il *fuso minore*, che però è assai difficile ad osservare, giacchè per vederlo, oltre alle altre condizioni necessarie per la luce zodiacale, occorre ancora che non cada in vicinanza della via lattea, che lo soverchia.

Sherman in Baltimore, fondandosi sulle osservazioni di Schmidt, Dechevrens, Heis, Weber e Jones, credette di poter stabilire una fluttuazione periodica dell'estensione della luce zodiacale misurata partendo dal Sole fino al vertice della piramide, e ammise esistere un'ipotetica connessione fra quella fluttuazione e l'attività solare. Egli crede poi di poter trarre dagli incerti apprezzamenti di queste " elongazioni " della luce zodiacale, la conclusione, che la causa incognita della luce si estende tanto più lontano, quanto meno numerose macchie si osservano sul Sole.

Il telescopio non potè arrecare alcuna contribuzione alla conoscenza della luce zodiacale in causa della debole luce e della grande diffusione di essa; lo spettroscopio dice invece che la luce zodiacale è luce solare riflessa da corpi solidi. Anche il polariscopio, un istrumento che serve a distinguere la luce diretta dalla luce riflessa, attesta conforme allo spettroscopio. La luce zodiacale ha uno spettro puro continuo, senza linee chiare o scure; queste ultime però non compaiono solo in causa della sua debolezza di luce. Si credette per lungo tempo che lo spettro della luce zodiacale contenesse una certa linea chiara verde, che è caratteristica della luce delle aurore polari, e che perciò si potesse attribuire anche alla luce zodiacale uno splendore proprio, ma più tardi si verificò, ed a ciò contribuirono in modo speciale le indagini di Wright, che quando questa linea verde si presenta nella luce zodiacale, essa viene contemporaneamente osservata anche in tutto il resto del cielo. Di più si hanno delle aurore polari che sono avvertibili soltanto allo spettroscopio. Quindi questa linea non ha nulla a che fare di speciale colla luce zodiacale.

Malgrado la durata e la semplicità del fenomeno, finora, strano a dirsi, non si è potuto trovare alcun ipotesi, scevra da obbiezioni, sulla natura della luce zodiacale. Jones la spiegava come un anello di piccoli corpi, quasi di stelle cadenti, circondante la Terra, analogo all'anello di Saturno, secondo le nostre vedute odierne intorno ad esso. Ma Schiaparelli, che dovette occuparsi di questo argomento in occasione delle sue ricerche sull'origine delle stelle cadenti, credette di poter dimostrare l'inattendibilità di tale ipotesi. Egli provò che secondo certe regole di fotometria che valgono fino colà, l'azione luminosa di un cosifatto anello dovrebbe essere minima nella direzione opposta al Sole, mentre il fuso minore denunzia qui un nuovo accrescimento di luminosità. Contro le stesse difficoltà opposte sempre ancora dal fuso minore urta l'opinione che il corpo solare sia circondato

(*a*) *Gegenschein*, fu tradotto in italiano con *lume riflesso o d'opposizione*. Schiaparelli, in ciò seguito dal P. Stanislao Ferrari, lo chiama *fuso minore*; così faremo noi. Avvertasi che è molto più proprio il parlare di *fuso* che di *piramide*. (Nota di O. Z. B.).

da un involucro di vapori di forma lenticolare, avanzo di quella nebulosa dalla quale secondo le idee di Kant e Laplace derivò primamente il nostro sistema solare. Sherman cercò di scartare queste difficoltà, immaginando che quell'appendice del Sole fosse più prolungata in una certa direzione, quasi a guisa di raggi, come noi vedremo essere conformata quella che è detta corona solare, il cui prolungamento sull'orbita terrestre sarebbe così la luce zodiacale. Tali prolungamenti radiali diretti verso la Terra potrebbero produrre il fuso minore.

Se, stando a questo modo di pensare, noi abbiamo a che fare con un'appendice del Sole, che ha una certa rassomiglianza colla coda di una cometa, Förster in Berlino pensa che questa coda di cometa appartenga non al Sole, ma alla Terra. Se questa coda fosse opposta al Sole, allora il fuso minore giacerebbe sull'asse di essa e sarebbe così spiegato. La maggiore intensità della luminosità elettrica, sarebbe come in tutte le code delle comete, in vicinanza del nucleo, che in questo caso è la Terra, col che si spiegherebbe la piramide di luce all'orizzonte. Ma anche questa ipotesi deve sormontare non poche difficoltà. Prima di tutto, da questa supposizione non si può dedurre immediatamente la disposizione nello zodiaco, poichè la coda dovrebbe circondare da ogni parte la Terra, e quindi diffondere la sua luminosità sopra tutto il cielo notturno. Ma se per spiegare la condensazione della luce precisamente nello zodiaco, si ammette con Förster una deviazione nella direzione del movimento terrestre, quale la si osserva rispettivamente nella coda delle comete, allora anche tutto l'asse della coda dovrebbe venir deviato, e con esso la posizione del fuso minore, il che è contradetto dall'osservazione. Per ultimo l'ipotesi di una luminosità elettrica propria, a mezzo della quale si può solo spiegare il fenomeno delle code delle comete, che certo non constano di corpuscoli di stelle cadenti, non è più permessa colla luce zodiacale, dopochè fu scoperto l'errore che riguarda la linea verde dell'aurora boreale già menzionata.

Ma frattanto recentemente Seeliger ha mostrato, che le obbiezioni di natura fotometrica sopra riportate, contro la persuasione che la luce zodiacale sia dovuta al risplendere di piccoli corpi riflettenti nelle vicinanze della Terra, non rimangono più inattaccabili di fronte al moderno sviluppo dei mezzi per la misura della luce. Si deve cioè tener conto dell'azione di fase dei singoli corpuscoli. Precisamente opposti al Sole, cioè nel sito del fuso minore, i corpuscoli ammessi rivolgono a noi il loro disco bene illuminato. Qui dovrebbe perciò verificarsi un massimo dell'intensità luminosa, quando la nostra visuale non fosse diretta normalmente all'anello supposto e perciò incontrasse ovunque solo la minima quantità di corpuscoli. Questo numero cresce continuamente fino ad una distanza angolare dal Sole di 90°, mentre la fase d'illuminazione dei corpi diminuisce. Così il fuso minore si spiega come un massimo secondario. Noi abbiamo veduto già prima d'ora, che lo spazio cosmico è ovunque cosparso di miriadi di corpi piccolissimi, le stelle cadenti. La luce zodiacale presupporrebbe che questi corpi siano disseminati in modo particolarmente denso nell'orbita stessa della Terra, giacchè solo con tale concetto si può spiegare la posizione dell'apparizione nella proiezione sul cielo dell'orbita terrestre, che è l'eclittica. Nell'ultimo capitolo di questo libro vedremo che un tale addensamento di materia precisamente su questo percorso della Terra nello spazio cosmico, corrisponde alle vedute che noi possiamo avere sull'origine del nostro pianeta.

Così può sembrare che il mistero della luce zodiacale sia chiarito a mezzo della supposizione di una cintura molto sottile costituita da particelle di materia, alla guisa dell'anello oscuro di Saturno, circondante il Sole alla distanza della Terra.

13. — Il Sole.

L'umanità doveva fin dai suoi primordi essere conscia che il Sole per noi è fra tutti i corpi celesti quello di gran lunga più importante. Nelle nostre considerazioni preliminari noi abbiamo dati molti esempi del culto divino tributato al Sole da parecchi popoli primitivi trovantisi sui più bassi gradini di coltura. Perciò può sembrar strano che non abbiamo incominciato dall'astro centrale le nostre considerazioni sugli astri, ma lo abbiamo posto alla fine della lunga serie di mondi che gli vanno soggetti. Man mano però che ci addentreremo di più nella natura del Sole, noi riconosceremo che in esso ritroviamo una specie affatto nuova di corpi celesti, un corpo cioè che ha solo poche proprietà comuni cogli astri che lo circondano, e che ci è molto più straniero, almeno dei pianeti, che in parte sono per molti tratti affini alla Terra, e perciò a noi più intelligibili, che la gigantesca sfera irradiante, che in maestà incomparabile signoreggia solitaria nel cielo divino. Quindi volendo cominciare il nostro giro d'ispezione dei corpi celesti dal punto saldo della nostra Terra ben nota, ne veniva fissata la direzione qui seguita, tanto più in quanto che i parenti più prossimi del Sole, come noi vedremo, si possono trovare nel lontano mondo delle stelle fisse, la cui descrizione, affatto naturalmente ora, terrà dietro a quella del Sole.

Ma anche quando senza qualsiasi cognizione dell'ordinamento degli astri nello spazio celeste esaminassimo la loro successione a seconda della loro meravigliosità, ci sembra ancora, per quanto ciò possa a prima vista sembrar paradossale, che non si dovrebbe ascrivere al Sole il primo posto. Poichè il Sole non potè venir osservato così immediatamente come gli altri astri, e fu necessaria una serie assai complicata di deduzioni, prima che il semplice uomo primitivo riferisse tutte le azioni del Sole, che da ogni parte lo circondano, a quell'astro, che egli poteva guardare da faccia a faccia, in sole date circostanze favorevoli di tempo, ed ancora unicamente durante pochi minuti al levare ed al tramontare. Anche oggi il nostro linguaggio famigliare indica spesso gli effetti del Sole, col nome dell'astro stesso. Il fanciullo utilizza tali maniere di dire molto prima che egli abbia un'idea del Sole come di una manifestazione celeste, mentre da molto tempo conoscerà come tali la Luna e le stelle.

Ciò prova da quali stretti legami noi siamo avvinti in tutte le nostre sensazioni quotidiane alle azioni di questo astro potente, dal quale per fermo dipendono fin da principio tutti gli eccitamenti della vita terrestre, ed in ultima linea anche tutti i movimenti della natura morta sulla Terra e sui pianeti. In ciò il Sole si distingue da tutti gli altri astri che, ad eccezione della sola vicina Luna che produce le maree, non hanno sul nostro mondo terrestre alcun altra ingerenza

tranne che coll'azione luminosa. Certamente il nostro bene e male essere sarebbero solo di ben poco influenzati dalla perdita di tutti gli altri astri, mentre l'estinguersi del Sole avrebbe per conseguenza la certa fine di ogni cosa terrestre. Il Sole è così indissolubilmente connesso colla nostra natura, come il sangue col nostro corpo. Perciò stesso noi consideriamo i suoi effetti, come così attivi fin nell'intimo di ogni creatura terrestre, che soltanto dopo un numero ragguardevole di considerazioni relativamente difficili, siamo costretti ad attribuirli ad un corpo celeste cotanto lontano, che per esso la Terra non è altro che quello che sono per noi tutti gli altri pianeti circolanti attorno al Sole, i quali come minuscoli dischetti luminosi vagano per il nostro cielo.

Si potè determinare con sicurezza, che la Terra vista dal Sole, misurata nel senso del suo equatore, non comprende più di 17″,7. Marte nelle sue posizioni favorevoli è per noi maggiore. Poichè il diametro medio del Sole, visto dalla Terra, comprende circa 32′,4, cioè 108 volte 17″,7, così il vero diametro del Sole deve essere di altrettanto più grande di quello della Terra. Il Sole è quindi sempre ancora dieci volte maggiore del massimo dei suoi sudditi. Segue inoltre da ciò che la superficie del Sole è circa 12.000 volte più estesa di quella della Terra. Se tutto il nostro mondo terrestre, coi suoi continenti e coi suoi mari, fosse trasportato sul Sole, esso vi occuperebbe in proporzione solo tanto spazio quanto sulla Terra ne occupa il regno di Danimarca, che copre appunto la 12.000ma parte della superficie terrestre. Sulla nostra carta, nella Sezione seconda del libro, che rappresenta il *Sistema planetario*, sono raffigurate le grandezze relative dei pianeti. L'immane sfera ci apparirà ancora più gigantesca, se calcoliamo che nel suo interno capiscono più di un millione ed un quarto di sfere della grandezza della nostra Terra. Dalla grandezza della Terra, vista dal Sole, che abbiamo data sopra (la metà del suo valore 8″,85, è detta la parallasse solare) si deduce immediatamente la distanza del Sole in unità del diametro terrestre: essa in cifre rotonde è di 150 millioni di chilometri. Poichè il diametro apparente del Sole va soggetto solo a tenui fluttuazioni, in ogni caso certo minori di quelle constatate per i pianeti, così noi ne rimaniamo sempre ad un dipresso egualmente distanti. Ad ogni modo il Sole ci sembra più grosso che mai al mutarsi dell'anno, più piccolo un semestre più tardi. La differenza ammonta a circa 64″, ossia la 30ma parte di tutto il diametro. Pertanto nell'inverno del nostro emisfero settentrionale noi ci troviamo più vicini al Sole, di un'egual parte di tutta la distanza, vale a dire di 5 millioni di km. Queste cifre tonde possono bastare a fornire un'unità di misura per la descrizione dell'attività solare, che noi svilupperemo nelle considerazioni che seguono.

Noi cominciano, per il meglio, colle azioni generali irradianti dell'astro centrale, che giornalmente visibilmente e sensibilmente ci inondano, la luce ed il calore solare. Come già si disse, rigorosamente parlando tutti i movimenti della natura intorno a noi, ed anche senza dubbio tutti gli eccitamenti della vita, si debbono attribuire all'influenza solare, e sono quindi di origine cosmica. Dal Sole noi ripetiamo la vicenda del giorno e della notte, della state e dell'inverno; la sua irradiazione calorifica mantiene continuamente in moto l'enorme macchina della nostra atmosfera, che fa scorrere in circolazione perenne l'acqua attraverso le vene della Terra vivente. Il calore solare fa schiudere il tenero germe fuori dell'umida terra,

e ne dispiega le verdi foglioline. Ed allora la luce solare incomincia il suo lavoro ancora del tutto misterioso, col quale le foglie verdi sotto la sua influenza decompongono di nuovo in carbonio ed ossigeno l'acido carbonico inspirato. Con ciò solo è resa possibile la reciproca azione tra animali e piante, che conserva la vita ai due grandi rami di forme naturali terrestri. Senza questa forza chimica della luce solare, che per ciò diviene in molte maniere fondamentali il sostegno di tutta la vita, come uno sguardo anche superficiale già lascia pensare, la nostra atmosfera, poco per volta, in causa dell'acido carbonico espirato dagli animali agirebbe in modo asfissiante, e d'altra parte le piante non potrebbero fornirci i mezzi di nutrimento da esse preparati col carbonio reso libero dalle combinazioni, mezzi dai quali il regno animale dipende senza scampo, poichè gli animali non possono come le piante assimilare le sostanze minerali. Così in questo procedimento, ancora del tutto inspiegato, che si svolge nelle foglie verdi, non appena appare la luce solare, sta la chiave di tutta la vita terrestre. Quanto sia grande questo lavoro della luce solare, risulta dal dato di 5 billioni di chilogrammi di acido carbonico che sono in un solo anno espirati dall'umanità, i quali in 600 anni avrebbero raddoppiato la quantità di acido carbonico contenuto nell'atmosfera, rendendoci quasi impossibile il respiro, quando le piante, coll'aiuto dei raggi solari non fossero venute di continuo purificando l'aria, cioè l'avessero fatta più ricca di ossigeno.

Se però anche tutte le nostre sorgenti artificiali di luce possono fino ad un certo punto sostituire queste azioni del Sole che mantengono la vita, esse sono tuttavia, tranne poche eccezioni, prodotte indirettamente dalla anteriore attività solare. I nostri carboni di pietra sono notoriamente di origine vegetale; la luce solare delle sparite età dell'istoria terrestre lavora oggi nelle nostre macchine a vapore e fiammeggia di nuovo nelle nostre lampade elettriche. Solo quando produciamo l'elettricità a mezzo del contatto di due metalli, non possiamo segnire oltre i confini del nostro globo terracqueo l'origine della forza che se ne sprigiona. Anche nei pochi casi, nei quali noi applichiamo la potenza delle onde della marea, il Sole, ed in massima parte la Luna, lavora all'opera dell'uman genere. Si potrebbero anche ricavare enormi quantità di energia dall'interno incandescente della Terra, ma queste sorgenti così vicine non ci sono necessarie finchè quella strapotente sorgente cosmica di forza lontana ci ricolma con tanta larghezza dei suoi doni.

Ma tutte queste azioni dell'energia solare non riguardano direttamente l'astronomo. Questi le misura unicamente per dedurne delle conseguenze sulla natura del grandioso corpo celeste che occupa il centro materiale e di creazione del nostro sistema mondiale. Se da questo punto di vista noi esaminiamo da prima la luce solare per rispetto alla sua forza, allora le misure fotometriche dimostrano che un pezzo di carta bianca illuminato dal Sole, col cielo sereno quanto è possibile, viene illuminato egualmente da una sorgente luminosa terrestre, quando questa riunisca in sè 288.000 candele e sia tenuta ad 1 m. di distanza dalla carta. Una lampada ad arco della forza di 10.000 candele è già fra le più potenti che vengano costrutte, ma solo alla distanza di 2 decimetri essa può illuminare un pezzo di carta bianca tanto quanto il Sole. Bond trovò che la luce della Luna piena è 470.000 volte più debole di quella del Sole.

Ma, secondo Langley ed altri, l'intensità della luce solare che giunge fino al fondo del nostro oceano aereo è appena la metà di quella realmente irradiata, l'altra metà è per noi completamente perduta. I numeri riportati fin qui ci offrono senz'altro la possibilità di determinare la forza propria della luce solare, cioè di fissarne l'intensità per il caso in cui l'indicato pezzo di carta non si trovi a maggiore distanza dalla superficie solare che dalla sorgente luminosa, usata come paragone, cioè ad 1 m. In realtà, come sappiamo, esso ne dista di 150 millioni di chilometri, ossia di 150.000 millioni di metri. Poichè l'intensità della luce diminuisce col quadrato della distanza, noi dobbiamo moltiplicare per quest'ultimo numero, moltiplicato prima per se stesso, l'energia radiante del Sole fuori della nostra atmosfera, e che è uguale a 576.000 candele-metro, e quindi dividere quel prodotto per il quadrato della distanza della superficie solare dal suo centro; distanza che in cifre rotonde è di 693.000 km. Noi otteniamo così come forza luminosa della superficie solare 27.000 millioni di candele-metro. Naturalmente noi non possiamo farci alcuna idea di questa enorme quantità di energia. Possiamo solo dichiarare che il Sole deve essere una sorgente inconcepibilmente potente, se fa risplendere da tanti secoli quel luminare cosmico.

La gigantesca attività del Sole ci appare ancora più potente, quando misuriamo il lavoro che producono sulla nostra Terra i raggi calorifici oscuri da quella distanza cosmica. Se si espone una superficie nera larga un metro quadrato, la quale per il suo colore nero è la più acconcia possibile ad assorbire tutto il calore che le giunge, durante un minuto secondo al calore raggiante del Sole, secondo Pouillet, essa ne ha accresciuta la sua primitiva quantità di calore di 0,288 caloríe. Il fisico definisce una caloría quella quantità di calore che è necessaria per elevare di 1 grado del termometro centigrado la temperatura di un chilogramma d'acqua alla temperatura di 0 gradi, che si è cioè pur allora formata da ghiaccio fondente. Si sceglie questa via indiretta per definire l'indicata quantità di calore, perchè così si può più facilmente esprimere il lavoro che la stessa quantità di calore può produrre, il che qui ci interessa particolarmente. Segue infatti da ciò che il calore solare apportato alla superficie nera della grandezza determinata basterebbe (ove venisse adoperato a scaldare una macchina a vapore), ad elevare nello stesso intervallo di un secondo 1 kg. all'altezza di 124 metri. Questo lavoro poi corrisponde a quello di 1,65 cavalli di potenza, secondo la definizione ordinaria. Ma anche la metà dei raggi calorifici è assorbita dall'atmosfera; fuori di essa quindi, in un minuto secondo, il calore che cade sopra un metro quadrato di superficie è capace di produrre un lavoro uguale a quello di 3,3 cavalli di potenza. Se ora si calcola il lavoro reale di questa irradiazione calorifica del Sole alla distanza di 1 m. dalla sua superficie, si ritrovano nelle considerazioni a ciò necessarie, i numeri sopra riferiti, e giungiamo ad una potenza di 157.000 cavalli al secondo e per metro quadrato di superficie solare. Ora quest'ultima abbraccia 58 trillioni di metri quadrati, cioè quanti sono indicati da un numero di 20 cifre che principii con 58 (*a*). Il lavoro totale pertanto, che potrebbe essere prodotto dal calore irradiato da tutto il Sole, sarebbe

(*a*) [Si avverta che l'autore intende per *trillione* un millione alla terza potenza. (Nota di O. Z. B.)].

rappresentato da un numero di 24 cifre cominciante per 9 di cavalli di potenza. Noi siamo qui innanzi a numeri che non possono darci alcun'altra idea, se non quella dell'incompleta inconcepibilità di tali produzioni. In cospetto di questi fatti noi dobbiamo accingerci allo studio profondo di questo focolare centrale, colla persuasione che nel suo interno siano in attività dei processi straordinari, poichè avremo anche da esaminare la questione del come le gigantesche quantità di forza che il Sole produce in ogni istante vengano di continuo rifornite. Evidentemente l'avvenire di tutto il mondo terrestre dipende dalla decisione di tale questione.

Ritornando ancora una volta sui numeri sopra riferiti, noi dichiariamo di esserci attenuti ai risultati dei classici lavori di Pouillet, sebbene questi siano stati molte volte ripetuti da altri, perchè essi sono pur sempre più generalmente accettati, e poichè qui in presenza delle considerevoli differenze dei valori corrispondenti ottenuti dai vari sperimentatori, si arriva meno che in qualsiasi altro modo ad una maggiore esattezza quantitativa. Per questo riguardo la nostra atmosfera oppone delle grandi difficoltà in causa della continua variabilità del suo contenuto di umidità. Il vapor d'acqua che la produce ha una grande attitudine ad assorbire calore, prima che questo possa essere misurato sulla Terra; d'altra parte, il vapor d'acqua contenuto negli strati aerei a noi sovrastanti non si può in modo alcuno misurare esattamente. Noi dobbiamo quindi sempre limitarci ad apprezzamenti. Questa continua variabilità del contenuto di vapore acqueo nasconde anche interamente l'inevitabile influenza delle variazioni della nostra distanza dal Sole. Evidentemente per il nostro emisfero l'irradiazione dovrebbe essere più energica in inverno che in estate, mentre per l'altro emisfero dovrebbe avvenire l'opposto: poichè l'estate di esso coincide colla massima prossimità al Sole. Come si comprende facilmente, essa è del tutto indipendente dalla temperatura dominante nell'atmosfera, che si cambia solamente in conseguenza della nostra posizione angolare rispetto al Sole. Accuratissime misure prolungate durante ben 10 anni hanno condotto Crova ai valori seguenti per l'irradiazione solare nelle nostre stagioni:

Inverno: 1,03 Primavera: 1,13 Estate: 1,09 Autunno: 1,04.

L'unità è qui tutt'altra che quella dianzi usata: ma si tratta anche solamente di valori relativi. Noi scorgiamo da quelli che in primavera l'irradiazione aumenta, manifestamente in causa della forte diminuzione del vapore acqueo contenuto nell'atmosfera, mentre noi ci allontaniamo dal Sole; andando verso l'estate si mostra la diminuzione normale, che si protrae ancora fino in marzo.

Se vogliamo farci un'idea della produzione di forza del Sole che meglio si riattacchi alle condizioni terrestri, troveremo buon fondamento in alcuni dati circa il lavoro che la nostra atmosfera può sviluppare in conseguenza del continuo rifornimento di calore che le somministra il Sole. Le osservazioni meteorologiche mostrano che annualmente nelle regioni equatoriali della Terra vengono convertiti in vapore circa 600 billioni (*a*) di metri cubi d'acqua e trasportati verso i poli, trascurando quelle masse d'acqua, le quali, benchè vaporizzate fuori dell'equatore, vi si condensano in precipitazioni più tardi, e che quindi non sono spinte più in là.

(*a*) [Billione = million alla seconda potenza = 1.000.000.000.000.

(Nota di O. Z. B.)].

Se si distendessero sopra una superficie eguale a quella dell'Europa, quelle masse d'acqua trasportate annualmente verso i poli, il mare che ne risulterebbe avrebbe una profondità di 66 metri. Ed il Sole compie un lavoro così grande tanto facilmente, come per giuoco, che noi solo nei casi più rari ne avvertiamo alcunchè, quando il vento dell'uragano scuote le nostre case, od il rombo del tuono nel temporale ci spaventa!

Questo lavoro è prodotto soltanto sulla Terra. Ora noi abbiamo trovato che il nostro pianeta visto dal Sole appare solo come un insignificante dischetto circolare di 17″,7 di diametro; ma il Sole spande la sua azione irradiante uniformemente in tutte le direzioni, cioè sopra tutto il firmamento. La sua forza complessiva è quindi tante volte maggiore quante la vôlta apparente del firmamento supera in grandezza quel dischetto circolare di 17″,7 di diametro. È un semplice esempio, a mezzo del quale noi troviamo che la parte dell'attività solare che la nostra Terra riceve è la 2735 millionesima parte di tutta l'immane potenza solare. Tutti i pianeti assieme prendono solo la 229 millionesima parte della forza emanata dal Sole; tutto il rimanente, vale a dire tutta l'energia solare, tranne una parte quasi evanescente, si sperde per lo spazio, senza effetto da noi constatato. Come vedremo più tardi, la luce solare può, fuori del sistema nostro planetario, incontrare mondi abitabili al più in tali distanze dai quali il nostro Sole non appare nè più chiaro nè più lucido che a noi una delle maggiori stelle fisse, che adornano il nostro firmamento.

Il Sole distribuisce i suoi doni ai pianeti in proporzione dello spazio superficiale che ciascuno di essi occupa sul cielo quale è visto dal Sole, giacchè queste superficie sono appunto quelle che si oppongono al passaggio dei raggi solari. Se noi prendiamo per unità una tal superficie per la Terra, per gli altri pianeti si hanno i seguenti numeri rappresentanti l'irradiazione solare: Mercurio $0,_{94}$; Venere $1,_{87}$; Marte $0,_{12}$; Giove $4,_{51}$; Saturno $1,_{01}$; Urano $0,_{05}$; Nettuno $0,_{02}$. Risulta da questi numeri che per quanto concerne la ripartizione totale dell'irradiazione solare, la Terra è sulla stessa linea con Mercurio e Saturno, e che solo due pianeti ricevono molto maggior copia dei suoi benefizi: Venere quasi il doppio, e Giove quattro volte e mezzo più della Terra.

Tutti i dati numerici relativi all'irradiazione solare fin qui riferiti, si basano su misure, che colle restrizioni indicate al luogo opportuno (pag. 289), possono venir istituite con un grado di precisione discretamente elevato. La cosa cammina ben altrimenti, quando si cerca di dedurre delle conseguenze circa la reale temperatura solare. Evidentemente questa questione è di capitale importanza per l'avvenire del Sole, cioè di tutta la vita nel suo regno, perchè dalla quantità di calore contenuta nel Sole dipenderà, sia pure non esclusivamente, la durata futura di essa. Ora, pur troppo, la quantità di calore irradiata da un corpo non sta in alcun rapporto semplice colla sua temperatura speciale. Tutti sanno che quando un pezzo di legno ed un pezzo di ferro vengono riscaldati fino ad un'eguale temperatura, e poi di nuovo raffreddati in eguali condizioni, cioè lasciati liberi di irradiare il loro calore, il pezzo di legno si mantiene caldo molto più a lungo del ferro. D'altronde fu necessario anche un tempo corrispondentemente più lungo, per portare il legno alla stessa temperatura del ferro. Quindi il legno assorbe ed emette il calore più lentamente del ferro.

È legge generale di tutte le irradiazioni, che Kirchhoff ha per il primo stabilita, ed una conseguenza necessaria della legge superiore di ogni manifestazione naturale, la legge della conservazione della forza, che tutti i corpi (con certe restrizioni, che qui non ci concernono per i corpi fluorescenti e che trattengono la luce) restituiscono ogni sorta di irradiazioni, a quel modo medesimo col quale le hanno acquistate. Ma l'applicazione pratica di questa legge di Kirchhoff all'irradiazione del Sole urta contro difficoltà ragguardevoli. Le linee di Fraunhofer nello spettro solare (V. pag. 77), ci dànno deduzioni solamente sul potere assorbente dell'atmosfera del Sole, non del suo interno, che produce uno spettro continuo, ma che è senza dubbio la vera sede della sorgente di calore. Ammettasi per intanto che quel nocciolo sia composto delle medesime sostanze, che noi possiamo dimostrare, esistenti nell'involucro del Sole a mezzo delle linee di assorbimento, solo colla differenza che nell'interno queste sostanze, invece di essere gaseiformi, sono liquide incandescenti (conclusione, che non è per nulla incontestabile), e cerchiamo di determinare sperimentalmente sulla Terra il potere di emissione e rispettivamente di assorbimento di questa sostanza: sorge allora la nuova difficoltà che la stessa sostanza in differenti condizioni di pressione mostra poteri di emissione fortemente diversi, come le linee di assorbimento si allargano di continuo anche con pressioni accresciute. Si presenta quindi l'altra questione: sotto quale pressione si trovano i vari strati nel Sole? Queste condizioni di pressione si possono bensì determinare con qualsivoglia esattezza, ma così si giunge tanto per esse quanto per le temperature corrispondenti a valori che sulla Terra non si possono più riprodurre sperimentalmente. Si deve perciò applicare il calcolo secondo il così detto procedimento di estrapolazione, il quale si può in qualche modo definire come segue. Se si sono determinate certe proprietà di una data sostanza rispettivamente per le temperature di 0 e 500 gradi, e se si può anche dimostrare il regolare procedere di tale proprietà entro quei limiti, si potrà sempre predire teoricamente come deduzione determinata, il comportarsi della sostanza per qualsiasi temperatura fino a 500 gradi, ma rimane pur sempre a vedersi se ci sia lecito calcolare cogli stessi fattori per una temperatura di 5000 gradi. Il procedere in tal guisa, in mancanza di migliori ipotesi, si chiama *estrapolare.*

In presenza delle difficoltà qui indicate solo parzialmente si è costretti ad accettare una grandissima incertezza relativamente ai dati intorno alla temperatura del Sole; fa però grande meraviglia che negli ultimi 20 anni siano state pubblicate delle ipotesi rese scientificamente probabili, i cui risultati finali circa la temperatura solare oscillano fra 1500 e 40 millioni di gradi. La temperatura di 1500 gradi sta ancora molto al di sotto di quelle che possono essere ottenute da noi artificialmente e che raggiungono 3500 gradi. Secchi, che d'altronde è una delle prime autorità nel campo delle ricerche solari, accettò per temperatura dei più eccelsi strati dell'atmosfera solare 5 millioni di gradi, e credeva che in causa del ragguardevolissimo assorbimento che questa atmosfera esercita sui raggi provenienti dall'interno, l'interno potesse persino possedere una temperatura di 40 millioni di gradi. Presentemente i dotti si scostano da tali estreme supposizioni. Le Chatelier, Wilson e Gray, Langley ed altri, hanno recentemente istituite ricerche sull'irradiazione di corpi riscaldatissimi, ad esempio dell'acciaio che vien fuori dai forni Bessemer, sul quale il ferro liquido incandescente sembra " caffè

nero „, mentre la fotosfera del Sole risplende ancora sempre 5300 volte più lucida di esso, e da esse hanno calcolato la temperatura del Sole essere compresa tra 6000-7000 gradi; Pascher trovò recentemente per essa 5130 gradi. Scheiner, in Potsdam, con un metodo spettroscopico affatto diverso, che si fonda sopra un modo speciale di comportarsi delle linee del magnesio a temperature differenti, provò che il Sole non poteva trovarsi sotto 4000 gradi, nè sopra 15.000. Secondo ogni apparenza, nell'odierno stato della scienza, noi non sbaglieremo di molto accettando per il valore in questione la cifra rotonda di 10.000 gradi.

Oltre a questi raggi luminosi e calorifici, il Sole emette ancora nello spazio delle forze elettriche e magnetiche. Imparammo già a conoscere le prime in causa della loro azione sulla coda delle comete. Le azioni magnetiche si fanno manifeste sulla Terra a mezzo di deviazioni dell'ago magnetico che avvengono saltuariamente, o per agitazioni permanenti di esso, chiamate tempeste magnetiche (V. p. 312), non appena il cannocchiale ci annunzia un'agitazione straordinaria dell'atmosfera solare. Discorreremo fra breve di queste relazioni. Ma l'azione principale del Sole è quella della sua forza d'attrazione, colla quale esso domina tutto l'intiero vasto sistema, e mantiene in movimento quell'esattissimo congegno d'orologieria, le cui ruote sono mondi giganteschi; di essa ci occuperemo nella seconda parte di questo lavoro.

Il poter studiare il meglio che si può un corpo, dal quale dipende così intieramente il nostro male ed il nostro benessere, dovrebbe essere per ognuno del più alto interesse. Ora se ciò non avviene tuttavia che in stretta misura, la ragione ne è principalmente nell'imperturbabile regolarità ed invariabilità, colla quale il Sole, buon'anno, mal'anno, ci colma sempre dei suoi benefizi, giacchè i benefizi quotidiani attutiscono tanto facilmente la riconoscenza. Ben altrimenti andava la bisogna nei primi tempi dello sviluppo dell'umanità, e lo è anche oggidì presso i popoli selvaggi, i cui ricordi storici non risalgono tanto lontano. Preghiere quotidiane venivano e vengono oggi ancora innalzate ogni sera in rendimento di grazie per le migliaia di benefizi che in questo giorno ancora il Sole ci ha largito. Tutti i movimenti del divino astro adorato venivano seguiti con attenzione, e tutto il mondo sarebbe pieno di uno spavento mortale se un giorno questa sorgente di vita venisse repentinamente ad esaurirsi.

Ma i benefizi del Sole non si spandono su di noi in modo così regolare ed invariabile come la superficiale apparenza può farci credere. Pur astraendo dalle eclissi che trascorrono così rapide, e che sono causate dall'interposizione della Luna, le cronache raccontano di offuscamenti della luce solare durate per settimane ed anche per mesi, che in generale, indipendenti dallo stato variabile della nostra atmosfera, riempivano d'angoscia l'umanità. Così si narra che nell'anno 626 la metà del Sole fu nera durante 14 giorni. In massima parte tali racconti sono però molto confusi e permettono parecchie interpretazioni. Altri per contro fanno abbastanza sicuri che durante lungo tempo estese porzioni della superficie solare abbiano perduto la loro forza illuminante. Prima e dopo la scoperta del cannocchiale furono viste ad occhio nudo delle macchie solari. L'occhio si può in tali osservazioni proteggere contro la pienezza della luce solare o a mezzo di un vetro annerito, ovvero a mezzo dell'azione assorbente dell'atmosfera, quando il Sole sta all'orizzonte. Se noi esaminiamo il maestoso astro a mezzo dei nostri moderni apparecchi di visione, per ricavarne delle cognizioni sui processi a mezzo dei

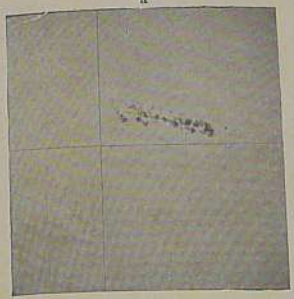
quali possono venir prodotte le mezionate azioni, lo vediamo apparirci esattamente rotondo (non schiacciato, come alcuni pianeti), con un disco a contorno netto, la cui luminosità va diminuendo dal centro verso il lembo. Ciò si vede specialmente, in modo ben chiaro, sulle fotografie solari, qualunque sia il metodo seguito nell'ottenerle (V. tavola qui unita, fig. *d*). Questo solo fatto già prova che il Sole è circondato da un'atmosfera, la quale, al pari della nostra, assorbe in gran parte i raggi luminosi. Esatte misure di tale assorbimento dell'atmosfera solare, furono intraprese da Langley e più di recente da Frost per i raggi calorifici, da Vogel per quelli luminosi. Le misure del calore furono istituite da Langley col *bolometro*, e da Frost in Potsdam colla *colonna termica*, istrumenti che in differenti maniere convertono in elettricità le azioni calorifiche, che in quella forma possono venir misurate molto più esattamente. Vogel investigò fotometricamente la radiazione luminosa, scomponendo prima a mezzo dello spettroscopio la luce bianca nelle sue tinte e misurando quindi l'intensità di ciascun colore. Prendendo il numero 100 per intensità dell'irradiazione nel centro del Sole, ed immaginando il raggio del disco solare diviso in 100 parti eguali, si ottennero i numeri seguenti:

Distanza dal centro	0	Raggi rossi	100	Calore secondo Frost	100	Raggi gialli	100
»	30	»	99	»	98	»	98
»	60	»	95	»	90	»	91
»	70	»	91	»	85	»	85
»	80	»	84	»	78	»	75
»	90	»	71	»	68	»	59

Fra la distanza 90 ed il lembo solare l'intensità diminuisce sempre più rapidamente, ma qui non si istituirono più altre misure, perchè esse divengono troppo incerte. Tuttavia da questi numeri si può ricavare che dal lembo del Sole giunge a noi meno della metà della luce e del calore che dal centro del suo disco. Nel centro l'intensità dell'irradiazione calorifica sta fra quelle dei raggi rossi e dei raggi gialli; più oltre verso il violetto (che non è dato nella tabella precedente) l'assorbimento per contro diminuisce naturalmente più; il lembo sembra molto più giallo del centro. L'atmosfera solare pertanto in questo rispetto agisce in modo analogo alla nostra, la quale, col rosso del mattino e della sera, giornalmente ci dimostra che ai raggi rossi e gialli è concesso un passaggio più facile che ai rimanenti. Ma dai numeri dati si può anche calcolare l'assorbimento che subisce un raggio solare che attraversa in cammino diretto, non obliquo come al lembo solare, l'atmosfera dell'astro centrale; cioè da essi si può calcolare di quanto un raggio che ci giunga dal centro del disco solare sarebbe più intenso se il Sole non possedesse atmosfera di sorta. Per ciò si trova $0{,}_{28}$ dell'unità scelta, e ne segue inoltre che se il Sole fosse denudato della sua atmosfera la sua azione totale sarebbe 1,7 invece di 1.

Noi abbiamo già cercato di rappresentarci l'enorme lavoro che sulla Terra viene prodotto nella nostra atmosfera a mezzo dell'assorbimento di circa la metà del calore solare che a noi viene impartito, mentre noi riceviamo solo la 2700 millionesima parte del calore totale irradiato dal Sole; dopo ciò noi dobbiamo congetturare che nell'atmosfera solare avvengano dei movimenti dei quali non possiamo farci alcuna idea, nei quali si converte quest'irradiazione assorbita. Ed infatti noi

a



Gruppo di macchie,
fotografato all'Osservatorio astrofisico
di Potsdam.

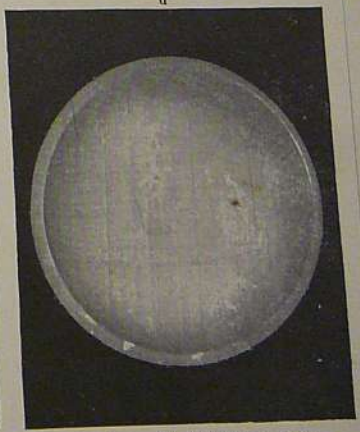
b

Protuberanza solare,
fotografata da Giorgio Hale in Chicago,
il 3 luglio 1894.

c

Rilievi fotografici della cromosfera
con protuberanze,
di Giorgio Hale in Chicago.

d



Rilievi fotografici del Sole con facole
e cromosfera,
di Giorgio Hale in Chicago.

Macchie, facole e protuberanze del Sole.

vediamo l'atmosfera solare agitarsi in moto e cambiamento continuo, cosicchè due immagini fotografiche del Sole prese a 10 minuti d'intervallo, sono fra loro molto differenti. In ciò si ritenga che un decimo di secondo d'arco, ossia la 140ª parte dello spessore di un capello, tenuto alla distanza della visione distinta, sul Sole per noi occupa 75 km.: di tanto almeno (0,1″) deve quindi spostarsi sul Sole un corpo, affinchè noi, nelle circostanze più favorevoli, possiamo ancora avvertire il

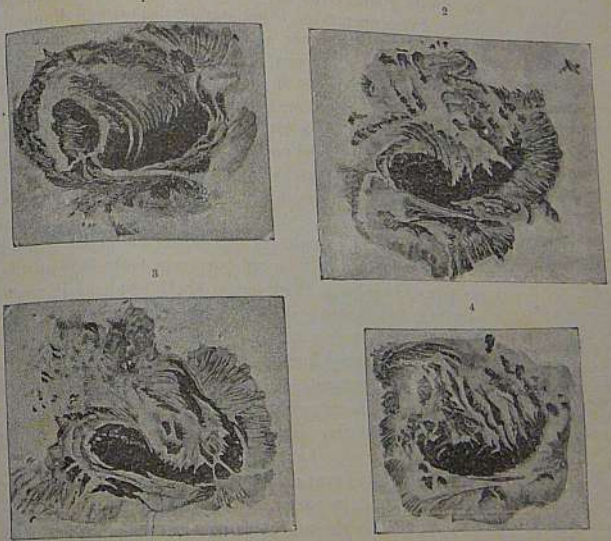


Fig. 131. — Grande macchia solare del febbraio 1894, disegnata da Th. Moreux in Bourges: 1) il 20 febbraio; 2) il 21 febbraio; 3) il 22 febbraio; 4) il 23 febbraio.

cambiamento d'aspetto prodotto. Sulla nostra tavola a pag. 304 la relativa grandezza della Terra è rappresentata da un piccolo cerchio nero in basso a destra. Il diametro di questo cerchio è in realtà lungo 12.800 km. La superficie di una macchia, che visibile senza sforzo sul disco solare, ne offuscava in parte l'aspetto in febbraio 1892, superava quella della Terra di più di 18 volte: era quindi tanto grande quanto quella di Urano. Ma se noi confrontiamo questa estensione con tutto il Sole, le enormi dimensioni spariscono. La macchia occupava circa la seicentesima parte di tutto il Sole, il che per rapporto alla Terra è tanto come tutta la penisola Scandinava. In febbraio 1894 apparve una macchia ancora più larga, il cui aspetto in quattro giorni successivi è rappresentato nella figura 131 con disegni molto caratteristici.

Lo studio più profondo delle macchie solari, di queste notevoli accidentalità del Sole, ci dovrà dare delle nozioni sull'attività dell'atmosfera solare, perchè in

essa visibilmente si trovano le macchie. Solo le grandi macchie ed i gruppi di macchie per lo più hanno forme così complicate come quelle rappresentate nella fig. 131. La macchia normale è rotonda, o un po' stirata in lunghezza, come mostrano i due disegni della fig. 132. Anche nella nostra tavola a pag. 301 è rappresentata una macchia solare normale. Si riconosce distintamente un nucleo oscuro intorno a cui sta un anello, la penombra, che ha un aspetto a striscie radiali. Tutte le macchie solari le più complicate si compongono con le più svariate disposizioni di questi tre parti principali. D'altronde il nucleo, malgrado la sua oscurità relativa, emette ancora una notevole quantità di luce, secondo Langley ancora 5000 volte di più di un'egual superficie della Luna piena. Poichè, secondo il medesimo astronomo, la luminosità complessiva del Sole è circa 470.000 volte maggiore di quella della Luna piena, così quella del nucleo è solo circa 100 volte più debole di quella delle altre parti della superficie. Se si potesse trasportare il nucleo di una macchia solare sul cielo notturno, esso vi apparirebbe pur sempre come l'astro il più brillante, ed anche con un diametro apparente che non superi quello dei grandi pianeti, spanderebbe pur tuttavia sul paesaggio tanta luce quanto la Luna piena. Langley e Frost hanno anche studiato il modo di comportarsi termicamente delle macchie solari, il quale, a differenza di quanto abbiamo fin qui constatato, procede in guisa ben diversa dall'irradiazione luminosa. Le macchie solari non emettono minor calore del rimanente della superficie; anzi dalle esperienze del nominato astronomo sembra risultare per le macchie una temperatura molto maggiore di quella che posseggono i loro dintorni immediati.

Fig. 132. Macchie solari: 1) Macchia solare normale disegnata il 2 ottobre 1882, che in parte per effetto di prospettiva appare ellittica; 2) Macchia solare normale disegnata l'8 agosto 1892 da Miss C. Brown.

Le variazioni di forma delle macchie non sono evidentemente tutte di natura reale, in parte esse sono prodotte da quegli stessi effetti di prospettiva che noi abbiamo già constatato nei dettagli dei pianeti rotanti (Vedi figure 133 e 134). Anche il Sole ruota intorno al suo asse, cosicchè noi possiamo dividere la sua superficie in zone polari, medie ed equatoriali. Se una macchia non si forma, per così dire, sotto i nostri occhi, allora essa appare ogni volta al lembo orientale del Sole, in forma prospetticamente accorciata, come deve necessariamente avvenire per una regione sopra una superficie sferica in quella posizione. Quest'accorciamento prospettico si manifesta anche ben distintamente per intieri gruppi, come si vede dal disegno della grossa macchia solare menzionata del febbraio 1892, che fu delineato il 5 febbraio, subito dopo il suo primo apparire. Il secondo disegno la rappresenta tre giorni più tardi, quando si era già notevolmente allontanata dal lembo solare. Si vede subito al primo colpo d'occhio che i cambiamenti d'aspetto durante questi giorni in massima parte sono soltanto apparenti.

Ma i disegni mostrano ancora, che oltre alle variazioni prospettiche ne avvengono anche, in notevole misura, di reali. Non si dà alcuna macchia solare di qualche estensione, sulla quale si possano avvertire delle particolarità, che conservi anche per soli pochi giorni consecutivi l'aspetto medesimo. In quelle regioni

solari, che sono accessibili alle nostre indagini, si svolgono di continuo dei vivaci movimenti. Volendo istituire misure della velocità di rotazione del Sole, o di quella dei movimenti propri qualsiansi delle macchie, non si potè trovare un punto qualunque fisso di riferimento, dal quale si potesse sempre ogni volta partire. Da ciò provengono, ma di molto aumentate, le stesse difficoltà per la determinazione della durata della rotazione del Sole, che incontrammo per Giove, che per molti rispetti può valere come un'immagine impicciolita ed indebolita del Sole. Anche sul Sole le macchie mostrano una chiara dipendenza della loro velocità di rotazione dalla loro distanza dall'equatore. Le macchie lungo l'equatore solare si muovono più rapidamente di tutte. Esse dànno una durata di rotazione di 25 giorni, però non sinodica, cioè calcolata rispetto alla nostra posizione, ma indipendente

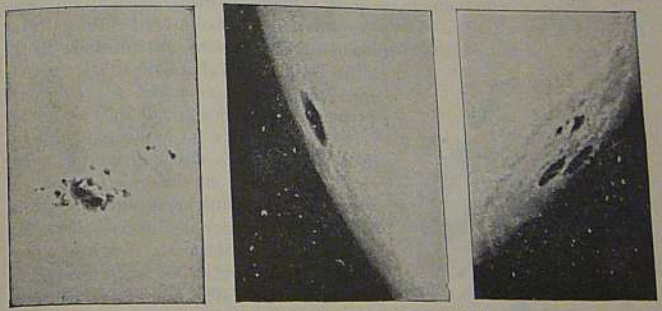


Fig. 133. — Macchia solare dell'agosto 1894.

dal moto della Terra intorno al Sole, cioè rispetto ad un punto fisso del cielo. La rotazione sinodica è all'incirca due giorni più lunga. Procedendo dall'equatore della sfera solare verso più elevate latitudini eliografiche, si osserva che la durata della rotazione è cresciuta a 10 gradi di latitudine di 6 ore, a 25 gradi di un giorno intiero, a 35 gradi di due giorni. Una macchia, che disti angolarmente dall'equatore di 40 gradi, richiede già circa 28 giorni per girare attorno al globo solare. Oltre questa latitudine si osservano solo di rado delle macchie, così che non si potè più oltre tener dietro alla legge di rallentamento della rotazione andando verso i poli (si avverta che dalle due parti dell'equatore si riscontrano le stesse condizioni). Ma anche per le altre latitudini, a cagione della rapida variabilità delle macchie, le quali ben di rado si mantengono per l'intiera durata di una rotazione del Sole, non si poterono ottenere risultati del tutto esatti. Ma la regolarità entro i numeri rotondi qui riferiti può essere accettata con sicurezza.

Ora si può chiedere: Come si spiegano questi fatti? In ogni caso avvengono correnti di natura vivacissima, in quei strati dell'atmosfera solare nei quali noi osserviamo le macchie. Ma non è possibile decidere senz'altro, se tutte le parti dell'atmosfera solare ritardino all'equatore meno che nelle latitudini più alte rispetto al nucleo, ovvero parlando più generalmente, rispetto agli strati più profondi che non sono più alla portata delle nostre osservazioni; od ancora se

soltanto l'equatore avanza, e le zone circostanti ritardano; ovvero, finalmente, se tutte le zone dell'atmosfera anticipano sulla rotazione che avviene nell'interno, ma all'equatore in misura più larga che alle alte latitudini. Circa il vero valore della durata della rotazione del globo solare, si resta quindi sempre completamente nell'incertezza entro a limiti abbastanza estesi, e si può soltanto dire, che essa non deve essere molto diversa da 25 o 28 giorni.

Fig. 134. — Gruppo di macchie solari del febbraio 1892, disegnato da Miss C. Brown. 1) Emergente dal lembo (5 febbraio); 2) progredita innanzi sul disco (8 febbraio).

Il movimento proprio delle macchie osservato è manifestamente il risultato di una circolazione regolare dei gas nell'atmosfera solare, simile a quella che noi constatiamo nel nostro involucro aereo terrestre. Il disuguale riscaldamento prodotto dal Sole è, assieme alla rotazione diurna della Terra attorno al proprio asse, la causa di quest'ultima circolazione. Se noi potessimo presupporre condizioni simili sul Sole, ci sarebbe facile scegliere fra le due possibilità addotte per spiegare la disuguaglianza dei movimenti propri delle macchie solari, e con ciò trovare una più esatta approssimazione per la durata della rotazione dell'immane sfera. Ma la causa di un riscaldamento disuguale e procedente a zone, non si può scorgere, e praticamente non è possibile dimostrare a mezzo di determinazioni termometriche anche delicatissime una irradiazione diversa a differenti latitudini, od almeno non la si può dimostrare con certezza, quantunque se ne riscontrino indizi. Volendo quindi per via indiretta acquistare qualche cognizione più precisa circa la vera durata della rotazione del Sole, noi dobbiamo appigliarci ad altri mezzi.

Questi ci sono offerti dal metodo spettrometrico, che a mezzo del principio di Doppler-Fizeau, che già conosciamo, può dar contezza di movimenti. Quando una macchia appare al lembo orientale del Sole, essa cammina dapprima quasi in direzione rettilinea verso di noi: le onde luminose divengono più corte e le linee di Fraunhofer si spostano verso l'estremo violetto dello spettro. Ma quando la macchia scompare al lembo occidentale, avviene l'opposto. Il metodo spettrometrico non richiede quindi, come il nostro occhio, alcuna macchia, sulla quale occorra fissarsi: in un medesimo spettroscopio si possono contemporaneamente analizzare un qualsiasi raggio solare proveniente dal lembo orientale ed un altro dipartitosi da quello occidentale, e si trovano le linee scure che stanno insieme, spostate reciprocamente. Lo spostamento dà direttamente in metri al minuto secondo la differenza di velocità, e con ciò anche la durata cercata della rotazione.

Ma questi spostamenti di linee mettono a giorno ancora un altro fenomeno, che, secondo Dünner, offrì un mezzo molto più facile per la ricerca delle condizioni della questione che ci occupa. Lo spettro consta, come sappiamo, non soltanto di linee che provengono dall'assorbimento esercitato dai gas sul nucleo centrale, ma altresì di linee che si generano soltanto nella nostra atmosfera. Queste ultime naturalmente non subiscono spostamento alcuno, giacchè i gas della nostra atmosfera rispetto al nostro istrumento sono come immobili. Fin dal 1883, Copeland osservò che una linea molto notevole dello spettro solare appare doppia, se si dirige l'apparecchio sul lembo orientale del Sole, mentre su quello occidentale si manteneva semplice. Il che proveniva da ciò, che in quella posizione dello spettro, una linea solare del ferro, copriva nella prima condizione una linea tellurica, ma nell'altra non più. Dünner ha utilizzato per le sue misure questo spostamento delle linee solari rispetto alle telluriche, ed ottenne perciò dei dati circa la velocità di rotazione, affatto simili a quelli che erano stati dedotti dalle osservazioni di macchie.

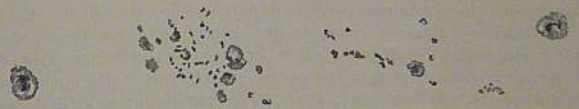


Fig. 135. — Macchie solari. Una serie di macchie che tenne dietro alla grande macchia del febbraio 1892, disegnata il 17 febbraio da Miss C. Brown.

Per l'equatore si ebbe una durata di rotazione di 25,7 giorni, per 25° di latitudine eliografica 26,9; per 40° già 29, e per 70°, fino al qual limite si poterono spingere queste ricerche, ben 37.6 giorni. Questi sono risultati importanti, perchè mostrano che le condizioni di corrente, delle quali si cerca la causa, sono di natura generale, e non si verificano solo colà dove in causa della produzione di una macchia solare si generano circostanze anormali. Ma questo risultato ci lascia molto incerti circa la vera durata della rotazione, non meno di quanto lo fossimo prima; poichè i limiti fra i quali noi dobbiamo cercarla, sono stati ancora di molto allargati.

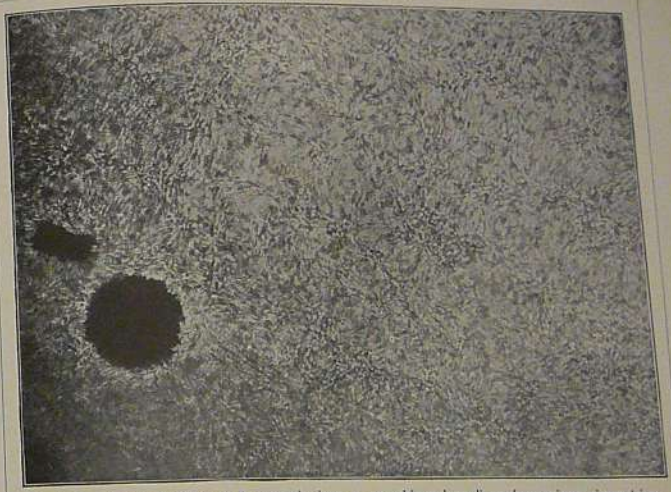
Sembra che negli ultimi tempi siasi riuscito a spiegare la contradizione dei vari risultati sulla velocità di rotazione del Sole, coll'essersi fatti persuasi che la velocità di rotazione non sia soggetta soltanto ad un determinato regolare andamento, procedendo dall'equatore verso i poli, ma anche scendendo a diverse profondità dell'involucro gasoso che avviluppa il Sole. Ma coi diversi metodi vengono particolarmente investigate certe profondità, si hanno quindi diversi andamenti secondo i diversi metodi. Noi impareremo ben tosto a conoscere più da vicino i vari strati dell'atmosfera solare, e ci faremo persuasi che lo strato nel quale si originano le macchie solari, in ogni caso, sta a profondità maggiore di quella dello strato assorbente che produce le linee di Fraunhofer, e questo è ancora più profondo delle così dette *facole*. Si comprende quindi come Dünner, il cui metodo riposa sull'osservazione delle linee oscure, abbia ottenuto un risultato diverso da quello dato dall'osservazione diretta delle macchie solari, ed ancora come Stratonoff, che dedusse i movimenti delle facole da un gran numero di fotogrammi presi tra

il 1891 ed il 1894, abbia a sua volta trovato diversi valori per la rotazione del Sole, che sembrano stare fra i due sopra riferiti.

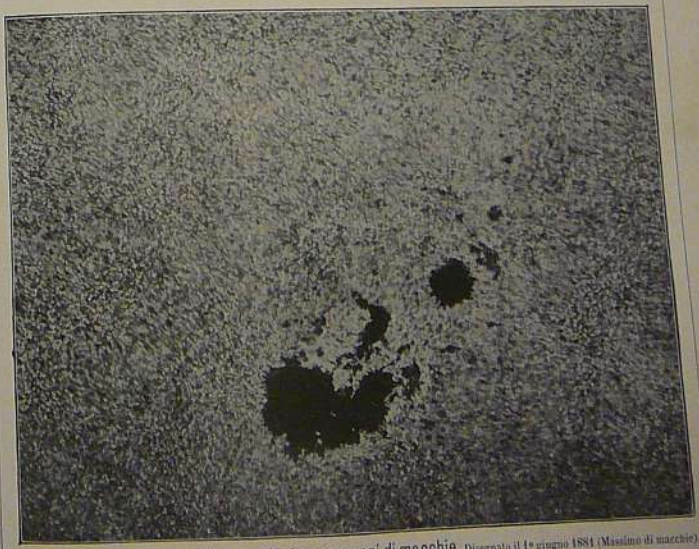
Noi possiamo però giungere anche per altra via ad ottenere informazioni sulla questione che ci interessa. Infatti, andando innanzi nella nostra trattazione, ci avvedremo ben presto, che il corpo centrale del nostro sistema assieme alle azioni generali che esso esercita in tutto il congegno della natura terrestre, rende anche sensibili a noi sulla Terra tutte le sue speciali agitazioni. Spesso le maggiori macchie, nell'istante nel quale passano per il meridiano del globo solare che sta a noi rivolto, e quindi ci sono più vicine, producono delle agitazioni e dei moti convulsi in quegli aghi sensibilissimi, che sono destinati a darci notizia dello stato magnetico del nostro pianeta. Oggi non possiamo più dubitare che il Sole debba venire, al pari della Terra, riguardato come un grande magnete, e che i due magneti agiscano rispettivamente l'uno sopra l'altro. Della nostra Terra sappiamo che i suoi poli magnetici non coincidono coi poli di rotazione. Se ciò avvenisse anche sul Sole, allora le azioni magnetiche del Sole dovrebbero andar soggette ad oscillazioni, che si misurano secondo le durate delle rotazioni dei due corpi celesti, poichè nella rotazione i poli dei due magneti cambierebbero periodicamente la loro mutua distanza, e quindi la loro reciproca influenza. Tali oscillazioni periodiche dell'ago magnetico furono poi dimostrate in realtà, e per la prima volta, nell'anno 1870 da Hornstein in Praga. Di recente Bigelow da un gran numero di osservazioni europee ed americane ha trovato quel periodo eguale a giorni 26,68, donde si ricava per il periodo sidereo di rotazione del Sole, vale a dire liberato dall'influenza della rotazione della nostra Terra, giorni 24,9, in coincidenza assai prossima col valore trovato per l'equatore coi metodi già menzionati. Poichè Helmholtz ed altri investigatori ritennero probabile, in base a considerazioni teoriche, che l'inviluppo gasoso di un gran corpo rotante abbia all'equatore di esso la stessa durata di rotazione del nucleo, mentre esso nelle zone di latitudine maggiore ritarda, così noi possiamo attenerci all'ultimo valore addotto, come ad un valore approssimativamente giusto, anche per gli strati del Sole inaccessibili alla nostra indagine.

Quel periodo di circa 27 giorni, dopo i quali nelle ipotesi fatte, il Sole torna a mostrarci sempre la parte medesima, in quella guisa che la nostra Terra ad esso rivolge di nuovo dopo 24 ore la medesima porzione della sua superficie, sembra riflettersi in parecchi fenomeni della nostra atmosfera, sebbene però in debole misura. Così questo periodo fu riscontrato nelle temperature medie di alcuni luoghi, come nelle oscillazioni periodiche della colonna barometrica, e di recente Bigelow con osservazioni di 20 anni delle tempeste dell'India occidentale, ha dimostrato una mirabile coincidenza della loro frequenza colle oscillazioni dell'ago magnetico, entro quella durata di rotazione. Sembra quindi realmente quasi che il Sole possegga due parti di diversa natura, delle quali una è continuamente in uno stato di attività più intensa dell'altra. Se questa congettura si conferma, noi dobbiamo in opposizione ad altre opinioni, che discuteremo più avanti, ammettere, che un nucleo mediocremente solido sta nascosto dietro agli involucri gasosi, nei quali noi osserviamo quei processi soggetti ad oscillazioni insolitamente rapide e vivaci, le quali però sono governate da una regolarità più o meno costante.

Per penetrare più profondamente nell'intima essenza del Sole, ci sarà utile lo



Struttura a foglie di salice della granulazione e macchia solare di conformazione simmetrica.
Disegnato il 10 giugno 1887 (Minimo di macchie).



Struttura a grane di riso della granulazione e gruppi di macchie. Disegnato il 1° giugno 1884 (Massimo di macchie).

Granulazione della superficie solare.

Secondo rilievi fotografici di Janssen a Meudon presso Parigi.

studio minuto delle correnti, che noi abbiamo constatato nella sua atmosfera. Per questo riguardo è di grande valore la ricerca minuta dei processi attivi nelle macchie solari, che ci forniranno evidentemente delle informazioni sui movimenti dell'avvolgimento gasoso.

Se noi ci rappresentiamo nel modo più generale una macchia solare, come un luogo che si distingue dalla lucidità generale della superficie solare, allora noi dobbiamo aggiungere alla macchia solare propriamente detta ancora due fenomeni: la granulazione generale della superficie e le così dette facole.

La granulazione si presenta sulla superficie solare come un grano minuto, che in un sito è più pigiato ed in un altro forma una rete a larghe maglie di intervalli oscuri. Spesso pare come se tutta la superficie solare sia rivestita di piccolissime nubi a fiocchi, simili a quelle nubi che sono dette pecorelle, spesso le macchiette chiare si distendono alquanto in lunghezza, così che l'apparenza richiama alla memoria una quantità di grani di riso radunati e pigiati fitti gli uni contro gli altri. I nostri due disegni nella qui unita tavola dànno una rappresentazione di questa speciale struttura. Janssen in Meudon presso Parigi, uno dei più competenti osservatori del Sole, crede di aver osservato che la struttura a grani di riso predomina in quelle epoche nelle quali il Sole mostra macchie più numerose, mentre l'altra detta a foglie di salice campeggia nelle epoche più tranquille.

Scheiner (in Potsdam) ritiene che l'origine di tale struttura sia simile a quella delle nostre nubi a pecorelle od a bioccoli di cotone, che occupano del pari nella nostra atmosfera i più eccelsi posti fra tutti i suoi rimanenti prodotti di condensazione. Uno degli ultimi lavori di quell'uomo di genio che era Helmholtz fu intorno all'origine di queste nubi a pecorelle disposte a serie (cirri). Egli le spiegò come le creste di onde aeree estremamente lunghe che circondano il nostro pianeta. Mentre gl'incavi delle onde si trattengono in posizioni, nelle quali la pressione esistente basta a mantenere libera l'umidità ancora contenuta nell'aria, le creste delle onde penetrano in strati troppo poco densi, nei quali essi precipitano la loro umidità, così che ci divengono visibili quali nubi. Così si generano da principio degli strati di nubi molto allungate, e per l'intervento poi di altre correnti, e l'incrociarsi dei due sistemi, le nubi a schiera di pecorelle. Anche da ciò sono quindi denunziate le già menzionate correnti. Secondo questo modo di vedere, l'atmosfera solare nel suo stato normale e tranquillo è costantemente ricoperta da una specie di guscio di cirri, che ci irradia la luce solare. Naturalmente non dobbiamo pensare come sulla Terra a prodotti di condensazione del vapore acqueo, ma dobbiamo immaginare vapori metallici, la cui composizione impareremo presto a conoscere meglio.

Il formarsi di una macchia d'ordinario si annunzia con uno scindersi delle formazioni nubilose della granulazione; si mostra un *poro*. Questo s'allarga e si scinde nella penombra e nel nucleo. Secondo Langley la struttura a raggi della penombra si protrae fin nel nucleo dell'ombra, benchè molto debolmente segnata. In un ulteriore sviluppo, relativamente tranquillo, i raggi s'incurvano come se il tutto costituisse un vortice. Spesso fasci di quei raggi della penombra si lanciano fin verso la metà del nucleo, e ben tosto si congiungono con quelli della parte opposta: si è così formato un ponte, che è ordinariamente il primo indizio della formazione a ritroso. La penombra si allarga sempre più, e ricopre ben presto intie-

ramente il nucleo. Dopo qualche tempo ogni traccia della perturbazione è sparita. Ma solo nei casi più rari, l'apparizione procede così semplicemente. Molto spesso, segnatamente nelle epoche di grande frequenza di macchie, si formano contemporaneamente parecchi centri oscuri, e s'aggruppano in una massa caotica aggrovigliata, come mostrano le macchie disegnate nella figura 134. Sul lato della macchia che sta indietro rispetto al verso della rotazione solare, si producono ognora nuove macchie, che vanno allargandosi, pur sempre mantenendosi connesse colla macchia primitiva che va pure di continuo estendendosi. Una simile serie di una tal trasformazione di macchie è rappresentata nella fig. 135 e sulle tavole a pag. 294, fig. *a*, ed a pagina 304. Il tutto assume quelle gigantesche dimensioni, delle quali già parlammo poc'anzi, e si conserva durante parecchi periodi di rotazione. Schwabe in Dessau, che fu per fermo il più zelante osservatore del Sole della metà di questo secolo, crede di aver veduto una macchia ritornare ben 22 volte; essa si era quindi mantenuta all'incirca un anno e mezzo. Macchie molto grandi furono sempre viste durante parecchie rotazioni, senza cambiamenti essenziali.

I ponti di luce che dànno principio all'invasione nella macchia della sostanza ordinaria della superficie solare, sono spesso molto più lucidi del contorno non perturbato della macchia; e quando già la macchia è intieramente scomparsa, si conserva ancora una certa traccia più lucente in quel sito, che vien detta facola. Tuttavia all'aspetto queste facole si presentano per lo più indipendenti dalla macchia: ma si mostrano sempre solamente in vicinanza del lembo solare, il che si spiega semplicemente a mezzo della minor potenza illuminante di queste parti lungo il lembo che lascia avvertire ancora differenze così tenui.

Per poter estendere l'esame di queste interessanti formazioni su tutta la superficie solare, il signor Giorgio Hale, astrofisico in Chicago, ha trovato un mezzo ingegnoso, nel quale il prisma che scompone la luce ha una parte principale, sebbene diversa da quella che d'ordinario ad esso si affida. Si è verificato che nelle facole le linee spettrali H e K, che appartengono al calcio, si mostrano, rispetto alle altre linee, lucide in modo affatto speciale. Ritorneremo più avanti sulla spiegazione di questo fenomeno. Hale fissa daprima uno spettroscopio all'estremo oculare del suo cannocchiale, e poi copre intieramente lo spettro ottenuto fino ad una di queste due linee. Si trova poi qui nel luogo dallo spettro una seconda fessura; la prima praticata davanti al prisma, proiettava un'intiera banda colorata con tutte le linee, a mezzo della dispersione del prisma. Dietro alla seconda fessura si colloca una lastra fotografica, sulla quale quindi può cadere solo la luce di quella linea, vale a dire luce monocromatica. L'apparecchio e la lastra vengono poi spostati secondo due direzioni così, che tutti i punti del disco solare possano l'una dopo l'altra impressionare la lastra solo a mezzo di quelle linee che si trovano nella regione dello spettro fotograficamente più attiva. Dove non esistono facole, la linea scompare, e cede il posto alla luminosità generale della fascia colorata continua. Le facole devono quindi rendersi visibili sulla lastra con un'azione chimica particolarmente sentita, il che fu conseguito nel modo più soddisfacente. Nella nostra tavola a pagina 294, fig. *d*, è riprodotta una fotografia solare di Hale. Il sistema di linee tagliantisi ad angolo retto, che attraversa l'immagine, è una conseguenza del metodo speciale di rilevamento che deve sormontare certe difficoltà meccaniche relative alla regolarità del movimento del cannocchiale e della

lastra fotografica. Noi vediamo inoltre, che contemporaneamente furono rappresentate anche le macchie solari, giacchè esse devono cagionare un indebolimento generale ancora più notevole dello spettro, e quindi anche della regione di esso utilizzata nella fotografia. Le protuberanze lucide al lembo del Sole, che mostrano solamente questa figura, ed un'altra fotografia del contorno solare pure fatta da Hale, ci occuperanno più tardi.

Nella figura 136 sono inoltre riprodotte quattro immagini di una macchia colle facole circostanti fissate a quel modo. Si vede che questo metodo non dà per

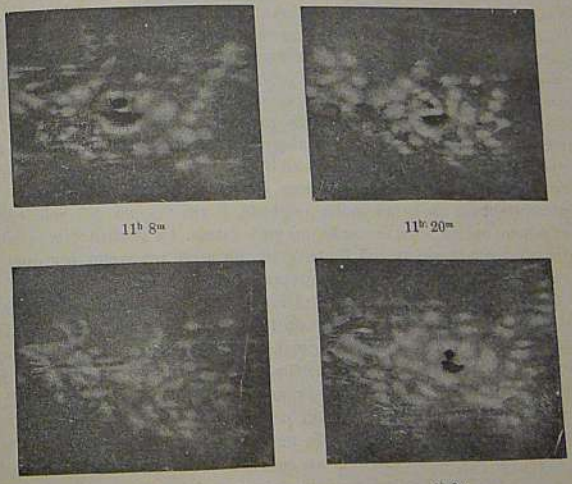


Fig. 136. — Eruzione solare, fotografata il 15 luglio 1892 da G. Hale, collo spettroeliografo dell'Osservatorio Kenwood.

nulla immagini così distinte come la semplice fotografia, ma rappresenta cose che l'occhio non può vedere neppure se armato degli apparacchi più potenti. Queste quattro immagini sono interessanti anche per altri rispetti. Le prime tre furono eseguite collo " Spettroeliografo „ di Hale nel giorno 16 luglio 1892, a brevi intervalli di tempo. La macchia doppia che si vede ben distintamente sulla prima cominciò a scomparire 12 minuti più tardi; e dopo 27 altri minuti, non se ne vede più nulla, per contro essa riappare alcune ore più tardi (sulla quarta figura) quasi nella sua forma primitiva. All'apparenza sembra quindi quasi che la materia luminosa delle facole circondanti la macchia, l'abbia invasa e si sia temporaneamente deposta su di essa.

Tutto sembra denotare che le facole sporgano fuori dalla superficie generale del Sole, che è ricoperta dalle granulazioni. Ad ogni modo esse sono strettamente

connesse, ed anzi secondo Hale sono identiche colle sporgenze, *protuberanze*, che si vedono innalzarsi come fiamme gigantesche sul lembo del Sole, pel rimanente oscurato dalla Luna, nelle eclissi totali, anche con un cannocchiale ordinario.

Queste protuberanze hanno un'istoria importante. Sebbene già gli scrittori antichi avessero parlato di fiamme, che parevano emanare ed erompere improvvisamente dal Sole, al momento del suo oscuramento totale, tuttavia queste formazioni molto notevoli, che in quel momento si possono avvertire facilmente anche ad occhio nudo, furono ritenute meritevoli di osservazione scientifica solo verso la metà del secolo presente. Questo poteva provenire in parte da ciò, che il fenomeno venisse trascurato per l'eccitazione che invade qualsiasi spettatore dell'avvenimento dell'oscuramento totale dell'astro del giorno, od anche da ciò che esse venissero riguardate come un'illusione ottica qualunque, che poteva bensì eccitare la nostra meraviglia, ma che non poteva dare occasione a studi molto profondi. Ancora nell'anno 1860, quando in occasione di un eclisse totale di Sole, visibile in Spagna il 18 luglio, molti astronomi erano d'ogni parte convenuti colà ad osservarlo, molti di essi tenevano opinione che le protuberanze, che allora si mostrarono di straordinaria bellezza, non fossero reali, ma sibbene prodotte dalla rifrazione della luce attraverso alle irregolarità del lembo lunare. Fra questi osservatori stava anche Plantamour, astronomo ginevrino molto prudente, il cui disegno del Sole eclissato a quel tempo, noi riproduciamo nella qui unita tavola. La controversia originatasi intorno a tale questione svegliò l'interessamento degli astronomi per quei noteveli oggetti, e si fu di nuovo lo spettroscopio che diede la dimostrazione definitiva della connessione delle protuberanze col Sole.

Quando durante l'eclisse del 18 agosto 1868, il nuovo apparecchio di visione fu rivolto al lembo solare, mentre le rimanenti regioni dell'astro del giorno erano coperte dalla Luna, si videro repentinamente emergere delle linee chiare, al luogo delle linee oscure di assorbimento di Fraunhofer, il che dimostra che colà esistono dei gas incandescenti, luminosi di per sè, i quali non d'altrove possono provenire che dal Sole. Janssen, che fu molto stupito dalla generale lucidità di queste linee, espresse allora subito la sua convinzione che esse si sarebbero vedute anche in altre circostanze oltre che nelle eclissi, e che così a mezzo dello spettroscopio si poteva dimostrare ad ogni istante l'esistenza delle protuberanze. Ciò si confermò completamente, ma vi ha di più, oggi noi possiamo, a mezzo dello spettroscopio, vedere non soltanto le linee delle protuberanze, ma esse stesse nella loro vera forma. Frattanto, indipendentemente da Janssen, Huggins e Zöllner avevano già indicato dei metodi per l'osservazione delle protuberanze. Questa osservazione si fa girando la fessura in guisa, che essa percorra tangenzialmente il lembo solare. Così attraverso alla fessura può cadere sul prisma soltanto luce proveniente da regioni che, esterne al corpo del Sole propriamente detto, si trovano nella sua atmosfera. Le protuberanze producono solamente pochissime linee chiare: ad esempio in esse si vede quella dell'idrogeno, e d'ordinario nel modo più spiccato una linea nel rosso. Ora se si allarga ognora più la fessura, le linee si allargano pure, senza però sovrapporsi l'una all'altra. Solamente là ove, attraverso alla fessura, cade veramente luce delle protuberanze, può apparire chiara la fascia costituita dalle linee, mentre nelle altre posizioni resta oscura. Quindi ciascuna banda, ad esempio delle linee dell'idrogeno, deve contenere un'immagine della protuberanza

PROTUBERANZE SOLARI

a) Eclisse solare con protuberanze, del 18 luglio 1860, secondo Plantamour;
b) Sole con protuberanze antipodiche, disegnate da Trouvelot in Meudon, presso Parigi, il 26 giugno 1885;
c) Protuberanza osservata da Fényi in Kalocsa, il 19 settembre 1893. (Il piccolo disco nero a destra rappresenta la relativa grandezza della Terra.)

nel suo colore speciale. In questo modo, oggidì, si esamina quotidianamente l'orlo del Sole per rispetto alle protuberanze, per fissarne l'immagine. Di ciò segnatamente si occupa il professore Tacchini in Roma, che già da molti anni pubblica l'aspetto del lembo solare, con tutte le sue fiamme quasi costantemente da esso sporgenti. In Potsdam i fenomeni vengono registrati in modo perfettamente simile.

Anche col metodo di Hale è possibile di dimostrare e far vedere queste fiamme e di fotografarle. Sulla nostra figura 136, rappresentante le facole solari in una fotografia di Hale, si riconoscono in realtà le protuberanze sull'orlo solare. Per potere fornire un'immagine del Sole completa, quanto la può dare questo metodo, si sono poste vicino due fotografie, una del solo lembo solare, e l'altra del solo globo dell'astro. In causa della diversa durata di esposizione occorrente, le due fotografie non si possono eseguire contemporaneamente. La nostra figura 137 riproduce una tal fiamma rilevata ripetutamente da Hale col suo spettroeliografo, a breve intervallo di tempo. Da essa si scorge il rapido accrescersi del fenomeno eruttivo.

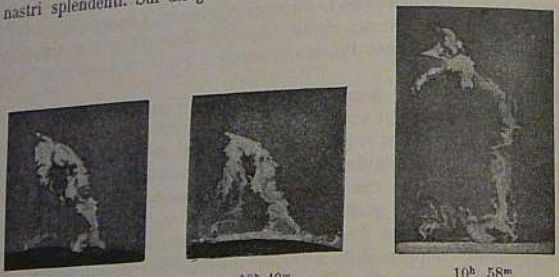
Oggi a mezzo degli strumenti di ricerca che si van di continuo perfezionando si può ad ogni momento vedere e misurare, quanto altra volta si poteva solo di sfuggita guardare nei rari momenti della totalità di un'eclisse solare. Si è per tal mezzo scoperto nelle protuberanze delle manifestazioni di natura assai più imponente ancora di quelle che ne esibiscono le macchie solari. Spesso in quelle epoche medesime nelle quali un gran numero di macchie ci dà avviso di potenti perturbazioni dello stato d'equilibrio dell'atmosfera solare, si vede nel corso di pochi momenti erompere dalla superficie solare delle immani fiamme, ed innalzarsi ad altezze enormi. Così Fenyi, direttore di un osservatorio privato ungherese, vide il 20 settembre 1893, una fiamma, che nel corso di un quarto d'ora s'innalzò all'enorme altezza di 500.000 km. sul lembo del Sole; che corrisponde a circa la quarta parte di tutto il diametro solare. Fenyi istituì delle misure esatte sull'innalzamento dell'apparizione, e trovò che in 425 minuti secondi essa era salita a 148.000 km., cioè 350 km. al minuto secondo.

Fra tutti i processi naturali che possiamo osservare, dopo la propagazione della luce e dell'elettricità, solo le poche comete che s'accostarono tanto al Sole da rasentarne quasi la superficie, mostrano velocità paragonabili a quella. Dobbiamo rappresentarci come dalla sfera incandescente del Sole vengano lanciate con una velocità che supera di circa mille volte quella dei nostri proiettili, delle fiamme alte venti o più volte quanto misura il diametro del nostro globo terracqueo. Secondo Zöllner la pressione che è necessaria alla spinta delle protuberanze è di 68.815.000 atmosfere. Che cosa sono a petto di ciò le eruzioni dei nostri vulcani! Si comprende, come in presenza di tali processi per noi incomprensibili vi siano degli astronomi che dubitino, che in essi, i gas che lo spettroscopio ci rivela siano realmente eruttati dal Sole, ma credono che i gas siano sempre presenti, e vengano portati all'incandescenza o da azioni elettriche o di altra natura. Ma poichè sul Sole noi c'imbattiamo ovunque in condizioni ed in processi che non possiamo rappresentarci, così *a priori* almeno non dobbiamo contestare la possibilità di propulsioni meccaniche di una tale potenza.

Un giorno prima dell'imponente emissione già menzionata, del 20 settembre 1893, l'osservatore ungherese, testè nominato, aveva visto nel punto diametralmente

opposto del lembo solare un'altra fiamma dell'altezza di 360.000 km., e quale è disegnata nella tavola a pagina 304. Quella menzionata prima aveva quasi esattamente la stessa forma. Ma questo contemporaneo avvenimento di fenomeni simili in punti del Sole situati fra loro agli antipodi, non è unico. Il 26 giugno 1885, dall'Osservatorio di Janssen in Meudon presso Parigi, Trouvelot disegnò l'immagine del Sole, che è pur data nella nostra tavola, con due protuberanze diametralmente opposte, dell'altezza di 460.000 km. Si sono osservati anche grandi gruppi di macchie solari, in cotali situazioni diametralmente opposte.

Le protuberanze possono assumere le più svariate forme; mentre le prime qui disegnate (fig. 137) sono foggiate a fiamma, le due agli antipodi rassomigliano di più a nastri splendenti. Sul disegno dell'eclisse solare eseguito da Plantamour, si



10h 34m 10h 40m 10h 58m

Fig. 137. — Protuberanza eruttiva, fotografata all'Osservatorio Kenwood in Chicago il 25 marzo 1895.

trova anche una nube rossa completamente staccata dalla superficie. Spesso si vede un buon tratto del lembo solare frastagliato da una quantità di piccole fiammelle terminanti a punta; di frequente pure, e segnatamente nelle regioni di alte latitudini eliografiche, nelle quali non si presentano più macchie, le protuberanze in relazione col carattere manifestamente più tranquillo dell'atmosfera solare assumono un aspetto nebbioso, e s'innalzano di gran lunga meno che nelle vicinanze dell'equatore. Non di rado si nota che una fiamma si spezza in alto in fiocchi e nubi, i quali poi ricadono poco per volta sulla superficie solare. Anche il colore delle protuberanze è diverso e spesso soggetto a rapidi cambiamenti. Però il color rosso è predominante, ma se ne manifestano anche di quelle gialle, violette e biancastre.

Nel ricadere, quelle emissioni, per lo più di gas dalla tinta rosea, sembrano mantenere e nutrire uno strato rossastro molto sottile, che noi possiamo distinguere sul lembo del Sole al disopra dello strato bianco essenziaalmente lucido, che vien denominato la *fotosfera*. Noi abbiamo così rintracciato sul Sole due involucri gasosi nettamente fra loro separati: quello che è formato dall'involucro a cirri della granulazione, e nel quale evidentemente si svolge il fenomeno delle macchie solari, e quello strato sottile dal roseo colore, che viene detto la *cromosfera*, la quale sospinta talvolta da processi che si agitano a maggiori profondità, lancia lontano nello spazio le protuberanze.

Ma su questa cromosfera sovrasta ancora un terzo involucro vaporoso del Sole, che nella sua essenza ci è oggi ancora misterioso, giacchè condivide il destino primitivo delle protuberanze, non offrendosi al nostro sguardo scrutatore se non negli istanti delle eclissi totali dell'astro del giorno, il che, data la circostanza che non tutti gli eclissi solari possono venire osservati, in parecchi anni non è concesso che per pochi minuti. Questa terza atmosfera si chiama la *corona*. I suoi raggi di un grigio d'argento, che all'istante dell'oscuramento completo erompono bruscamente dietro al lembo lunare, e la cui impressione è da noi ritratta nella nostra tavola a colori, riportata a pagina 7, sono al pari delle protuberanze descritte da quei pochi che possono godere dello spettacolo meraviglioso di un siffatto eclisse, con esaltazione, come una delle più portentose apparizioni che renda attoniti al momento dell'oscurità totale. Anche la corona, al pari delle protuberanze, ed anche or non è gran tempo, fu riguardata come una mera apparenza ottica.

La corona si presenta come un'aureola lucida, a raggi, circondante il Sole eclissato; la quale, come ogni cosa sopra il Sole, può assumere le forme e gli sviluppi più svariati. Naturalmente questi cambiamenti possono essere avvertiti solo con confronti fra gli eclissi totali di Sole; durante i minuti della totalità stessa quelle emissioni a forma di raggio sovente molto lunghe, mantengono la loro posizione. Quelle emissioni sono spesso perfettamente rettilinee, altra volta incurvate in modo particolare, così come si vede avvenire delle particelle della limatura di ferro, che si raggruppano al polo di una calamita. Esse si manifestano sempre soltanto nella zona delle macchie solari; ai poli l'apparizione è così limitata che si può parlare di uno schiacciamento considerevole di questo strato più esterno dell'atmosfera solare. Già nel nostro capitolo sulla fotografia celeste, accanto ad antichi disegni della corona, abbiamo riprodotte fotografie di essa sulla nostra tavola in elioincisione a pagina 47 ed anche nella figura 27, e ciò per mostrare quali progressi la lastra sensibile alla luce abbia fatto maturare in questo campo speciale, nel quale, stante la rapidità del momento, non si potevano attendere dalla mano dell'uomo riproduzioni fedeli della rara apparizione: ed anche oggi la rappresentazione della corona sul menzionato disegno di Plantamour nella tavola colorata a pagina 304 ci appare molto strana.

La corona ha uno spettro con linee lucide, che le sono speciali e che indicano la presenza di gas incandescenti: inoltre in questi ultimi tempi pare sia riuscito a Deslandres di dimostrare a mezzo del principio di Doppler-Fizeau, che questa aureola di raggi ruota col Sole, e che quindi è anche ad esso connessa; in base a tali argomenti la corona deve chiarirsi come qualche cosa di reale, e non come si era inclinati a ritenere fino a poco tempo fa, come nient'altro che una riflessione dei raggi solari a mezzo di particelle sospese liberamente nello spazio e probabilmente di origine meteorica.

Ma tutti questi fenomeni, che noi abbiamo qui descritti solamente quali ci appaiono al loro aspetto esterno, il presentarsi delle macchie solari, le facole e le protuberanze, l'aspetto generale della superficie solare, la struttura della granulazione, e finalmente lo sviluppo e la forma della corona, sono soggetti a fluttuazioni periodiche. Noi dovremo occuparci diffusamente di queste, prima di poter dare una spiegazione dei processi fisici in attività sull'immane corpo celeste.

Già tenemmo discorso del periodo coincidente colla rotazione del Sole (v. p. 300). Ad esso s'accompagna il notevole periodo undecennale dell'attività solare, che ha già dato molto filo da torcere a profondi pensatori, ed ancora più ai dilettanti di ipotesi. La sua esistenza fu per la prima volta congetturata da Schwabe nel 1843, e dimostrata da Rodolfo Wolf in Zurigo nel 1852. La statistica di Wolf per le macchie solari, condotta con una cura ed una previdenza meravigliose, diede per la lunghezza del periodo anni 11,3, con un'incertezza di circa un terzo di anno. Le oscillazioni della frequenza delle macchie non hanno quindi quella regolarità che siamo usi constatare nei movimenti dei corpi celesti. Il massimo può ritardare od anticipare, in media di tre mesi, ma in taluni casi persino di un intiero anno.

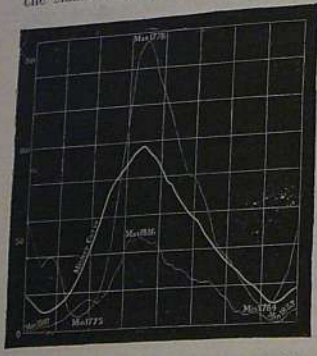


Fig. 138. — Curve della frequenza delle macchie solari di R. Wolf.

La figura 138 rende sensibile a mezzo di curve queste condizioni. Le linee verticali distinguono le divisioni del tempo, le orizzontali dànno il numero delle macchie osservate, espresse a mezzo di certi numeri relativi introdotti da Wolf, che permettono un ragguagliamento fra i diversi istrumenti ed osservatori. La linea tracciata con un tratto grosso è l'andamento dedotto da tutte le osservazioni, le due linee più deboli rendono manifeste le condizioni effettive per i periodi 1775-84 e 1810-23. Esse rappresentano due casi estremi di attività solare particolarmente forte e debole. Così, mentre in media la quantità delle macchie solari in un massimo è espresso dal numero relativo 100, nel 1816 toccò solamente 50, salì per contro nel 1778 a 150. Nel minimo del 1810 ed in quello del 1823 il Sole fu per lungo tempo completamente senza macchie, per contro nei minimi che precedettero e tennero dietro a quella straordinaria attività del 1778, il Sole rimase sempre con qualche macchia. Dalle tre curve si vede inoltre che dopo un minimo, il numero delle macchie cresce molto più rapidamente, di quanto esso decresca poi dopo fino al minimo successivo. Dal minimo al massimo, passano circa due anni di meno che dal massimo al minimo. La stessa cosa si constata in tutti i fenomeni che sono causati dalla perturbazione di una condizione di equilibrio: la perturbazione si produce sempre più rapidamente di quanto venga poi calmata. Inoltre le più energiche manifestazioni dell'attività solare sono anche sempre meno durevoli di quelle più deboli; nelle più grandi manifestazioni di forza, quest'ultima erompe più rapidamente.

Dopo questo sali-scendi più o meno regolare della frequenza delle macchie, da circa la metà del secolo presente, cioè da quando si principiò a studiare ovunque profondamente le macchie, si è constatato un vero avvicendarsi di fenomeni di correnti, che secondo ogni apparenza dipende da un regime interno. Dopo

che il Sole è stato completamente senza macchie, le prime perturbazioni della sua proverbiale purezza avvengono affatto vicino all'equatore, in ogni caso in una zona compresa fra 20 gradi di latitudine eliografica settentrionale e meridionale. Quanto più il massimo si approssima, tanto più i centri di formazione della macchia si scostano dall'equatore, finchè si producono soltanto più in una zona compresa fra 20 e 40 gradi al Nord e al Sud dell'equatore. Al di là dei due

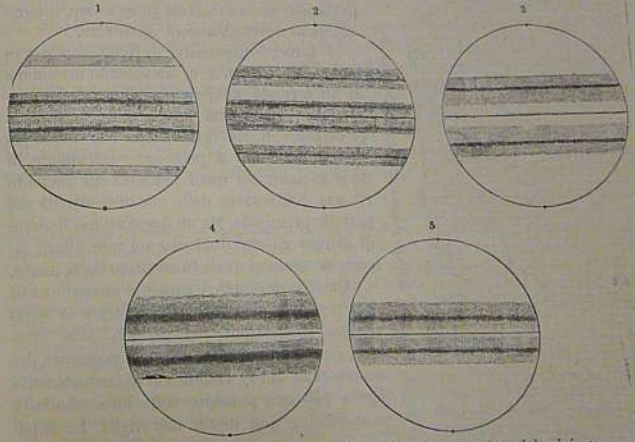


Fig. 139. — Distribuzione delle macchie solari: 1) poco prima del minimo; 2) poco dopo il minimo; 3) prima del massimo; 4) durante il massimo; 5) dopo il massimo.

paralleli di 40 gradi ben di rado si presentano delle macchie, come fu già avvertito fin dai primi stadii dell'osservazione delle macchie. Lo aveva notato fra altri il padre Scheiner della Compagnia di Gesù, che era stato in contesa con Galilei per una questione di priorità circa la scoperta delle macchie solari. La macchia più vicina al polo che siasi mai osservata, si trovò a 51 gradi di latitudine Nord. Dopo il massimo, i centri di formazione si avvicinano di nuovo all'equatore, così che le fascie subtropicali diventano di nuovo libere da macchie all'accostarsi del minimo successivo. Questo notevole andamento fu scoperto primamente da Carrington: egli fu seguìto poi da Wolf e Spörer. Spörer ha reso questo movimento dell'attività delle macchie in latitudine durante il periodo undecennale ben manifesto a mezzo del disegno riprodotto nella figura 139, che si comprende senza bisogno di spiegazioni. Wolf spiega quest'andamento a mezzo di correnti che durante il periodo undecennale delle macchie si propagano dai poli all'equatore. Subito dopo il minimo comincia la corrente ai poli; all'equatore s'incontrano le correnti provenienti dal Nord e dal Sud, e s'inizia la formazione delle macchie con manifestazioni vorticose, che arieggiano quelle che sulla Terra si osservano nelle burrasche. In causa dell'accumulazione e del riflusso all'equatore le correnti

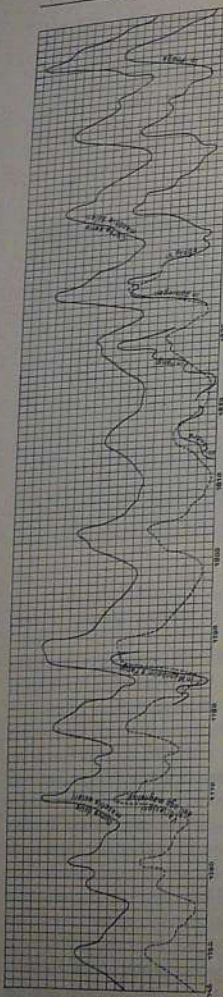


Fig. 140. — Curve dell'attività solare e delle devianzioni dell'ago magnetico, secondo Rodolfo Wolf.

devono inflettersi, rovesciarsi e giungono alle zone sopra indicate, mentre la regione equatoriale comincia di nuovo nel frattempo a calmarsi. Poco prima del minimo successivo, la corrente è già pervenuta nuovamente ai poli, e scorre di nuovo indietro. Si originano così delle pulsazioni undecennali del globo solare, intorno alle quali dovremo ancora discorrere.

I lavori comprensivi di Wolf condussero inoltre alla scoperta di un secondo massimo e di un secondo minimo, cioè di oscillazioni secondarie dell'attività solare, entro al periodo principale; di più egli credette che cinque periodi undecennali si potessero raggruppare in 55 o 56 anni, nei quali avveniva un aumento ed una diminuzione della massima attività del periodo principale. Ma su quest'ultimo il dotto di Zurigo ritornò dubbioso nei suoi ultimi lavori, in mezzo ai quali fu sorpreso dalla morte.

Quell'instancabile e sapiente raccoglitore di dati potè più sicuramente dimostrare la strettissima connessione del periodo delle macchie, colle fluttuazioni della forza magnetica del nostro pianeta (*a*). Le due curve tracciate nella figura 140 non possono, colla loro manifesta concordanza, non destar meraviglia. La supe-

---

(*a*) [L'autore passa qui intieramente sotto silenzio i dubbi sollevati dalla massima autorità, in argomento vivente, contro la connessione tra le macchie solari ed il magnetismo terrestre: essi sono troppo serii perchè si possano lasciare in disparte. Questi dubbii, queste obbiezioni, furono esposti da William Thomson (Lord Kelvin), nel discorso letto il 30 novembre 1892 alla Società Reale di Londra (Vedi *Popular lectures and andresses*, vol. II, 1894, pp. 508-523, nonchè *The Story of the Sun* by Sir Robert Ball, Londra 1894). Da quest'ultimo libro ne piace tradurre un brano che esprime così l'opinione sull'argomento di due delle più poderose menti onde si onori l'Inghilterra.

« Una nuova fase della questione si è iniziata col discorso letto il 30 novembre 1892 nello anniversario della Società Reale, nel quale Lord Kelvin combatte strenuamente la teoria che le burrasche magnetiche terrestri siano direttamente dovute ad onde magnetiche emananti dal Sole. Il Presidente della Società Reale additò il carattere fondamentale delle difficoltà che accompagnano l'opinione che ogni influenza di tal fatta sia esercitata direttamente dal Sole sulla Terra. Sembra che nelle circo-

riore rappresenta le oscillazioni della frequenza delle macchie negli anni fra il 1745 ed il 1875, l'altra mostra quali deviazioni dalla sua posizione media spieghi sulla Terra l'ago magnetico alla distanza di centocinquanta millioni di chilometri da quelle macchie. La curva a tratti interrotti fu ricavata dai valori medi di vari luoghi d'osservazione, quelle a tratto continuo corrispondono alle osservazioni nei luoghi segnati. Noi scorgiamo come ogni inflessione dell'una si riproduca nell'altra. Ma se si tien dietro a queste oscillazioni dell'ago magnetico, fin nei suoi ultimi impulsi (la nostra curva dà soltanto i valori medii), si giunge per ogni epoca, con sufficiente sicurezza e senza guardare il Sole, dall'osservazione dell'ago magnetico, alla conoscenza della corrispondente ricchezza del Sole in macchie, e si può anche assegnare la posizione, in quell'istante, sulla superficie del disco solare di un gruppo di macchie noto in precedenza. Si esamini per questo rispetto la linea spezzata della figura 141, che fu disegnata dallo stesso ago magnetico dal 12 al 14 febbraio 1892. Noi sappiamo già che in quei giorni una macchia solare eccezionalmente grande fu, dal movimento di rotazione del

---

stanze ordinarie l'intensità del magnetismo terrestre durante una tempesta sia uguale alla quattrocentesima parte della forza magnetica terrestre non perturbata. Nei casi estremi, però, la variazione può salire fino ad un ventesimo della forza magnetica normale. La difficoltà capitale è di immaginare come il Sole possa essere un magnete variabile abbastanza potente da produrre alla distanza della Terra dei cambiamenti tanto grandi quanto quelli che si veggono avvenire attualmente.

Consideriamo il lavoro che deve essere svolto se il Sole deve produrre una tale perturbazione. L'esempio citato da Lord Kelvin è quello della burrasca magnetica del 25 giugno 1885, rispetto alla quale il professore W. G. Adams ha dato particolari notizie nel suo lavoro del giugno 1891, nelle *Philosophical Transactions*. In undici luoghi sparsi sulla superficie del globo, la forza orizzontale aumentò e diminuì, l'intera durata del fenomeno avendo occupato circa otto ore. In taluni di questi luoghi la forza orizzontale fu accresciuta di circa un millesimo sopra il valore normale e ricadde quindi di un millesimo al di sotto di questo. Si può dimostrare che in tali cambiamenti, se originati da un'azione qualsiasi insita nel Sole, l'agente deve aver sviluppato una potenza espressa in cavalli-vapore che è 364 volte maggiore di quella dell'intiera radiazione solare.

" Così, dice Lord Kelvin, in queste otto ore di una burrasca magnetica non troppo intensa, il Sole ha dovuto inviare attraverso allo spazio in tutte le direzioni delle onde magnetiche, come esso attualmente irradia in quattro mesi la sua luce ed il suo calore. A me sembra che questo risultato sia assolutamente concludente contro la supposizione che le burrasche magnetiche terrestri sono dovute all'azione magnetica solare, od a qualsiasi altra specie di azione dinamica che si svolga entro il Sole, od in connessione cogli uragani della sua atmosfera, o dovunque nei pressi del Sole ".

" Questo ragionamento quasi ci costringe a respingere l'opinione che l'attività solare sia la causa delle perturbazioni magnetiche; e Lord Kelvin sembra pensare che i molti casi in cui si è verificato un accordo tra il periodo di macchie solari abbondanti e l'esuberanza di burrasche magnetiche devono essere riguardati come coincidenze meramente fortuite. Sembra però difficile l'ammettere che la cosa stia veramente così. È del pari possibile che vi sia qualche altra spiegazione valevole, che ci conceda di conservare la nostra opinione sulla connessione fra le eruzioni solari e le burrasche magnetiche terrestri, e tuttavia non ci astringa a riguardare l'una come causa delle altre. Non può egli darsi che i fenomeni tanto sul Sole quanto sulla Terra, pur non stando fra loro nella relazione di causa ad effetto, sieno entrambi la conseguenza di qualche altra influenza di onde magneto-elettriche propagantisi in vasta scala attraverso al nostro sistema, ed agenti sui fenomeni magnetici nei varii corpi che compongono il nostro sistema? "

(Nota di O. Z. B.)].

Sole, portata sul suo disco. Il 12, essa passò per il meridiano solare rivolto alla Terra, si trovò quindi nella sua massima prossimità a noi. In principio l'ago magnetico si comportò allora in modo del tutto normale, poichè l'effetto tiene dietro alla causa sol dopo qualche tempo. Ma il 13, l'ago con agitazioni veramente febbrili annunziò che era scoppiata una tempesta magnetica di straordinaria vivacità. Ed allora, il giorno 14, apparve su tutta l'Europa occidentale una magnifica aurora boreale, che fu visibile fino a Roma. Ora poichè le aurore boreali stanno in stretta connessione colle condizioni magnetiche terrestri, non può recarci meraviglia che esse si manifestino contemporaneamente alle potenti convulsioni del corpo centrale del nostro sistema, che suscitano in regioni di dimensioni planetarie dei movimenti caotici. Durante questi temporali magnetici (burrasche magnetiche), come Humboldt chiamava le aurore boreali, delle potenti correnti terrestri di natura elettrica si propagano sotto la superficie, ed influenzano i nostri fili telegrafici. Spesso attraverso ad un intero continente gli apparati di Morse martellano come se fossero mossi da una mano, ed ogni comunicazione telegrafica intelligibile è resa impossibile per delle ore. E la causa di tutte queste perturbazioni, non è altro che quella macchia solare a 150 millioni di chilometri di distanza.

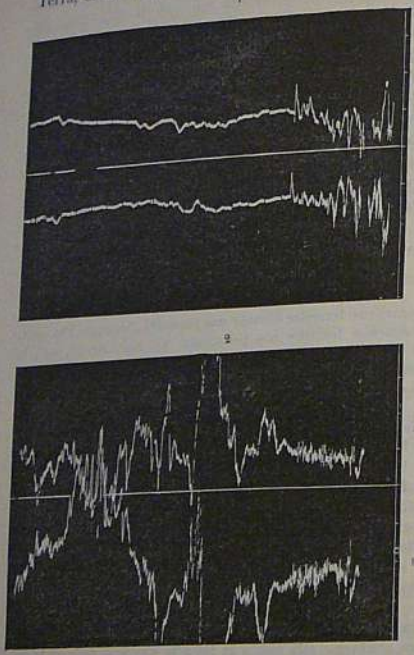


Fig. 141. — Curve dell'uragano magnetico del febbraio 1892: 1) Curve dei movimenti dell'ago magnetico, disegnate automaticamente in Greenwich dal 12 al 13 febbraio 1892; *a)* Movimenti in declinazione; *b)* Movimenti della componente orizzontale; 2) Curva dei movimenti dell'ago magnetico disegnati automaticamente in Greenwich dal 12 al 14 febbraio 1892; *a)* Movimenti in declinazione; *b)* Movimenti della componente orizzontale.

Si comprende, come si sia sperato di ritrovare il periodo undecennale dell'attività solare anche in altre manifestazioni terrestri, e segnatamente negli andamenti dei fenomeni meteorologici, nei quali già da molto tempo si va cercando una legge

od una regola. Già vedemmo che il periodo di 27 giorni della rotazione solare si ripercuote realmente in alcune manifestazioni meteorologiche. Da sessanta o sett'anni con zelo ardente, si va in cerca di ogni sorta di periodi. Naturalmente si cercò dapprima di oscillazioni di temperatura, le quali però possono venir profondamente celate da condizioni locali, giacchè la determinazione di tutto il calore, che viene comunicato alla Terra, si urta a difficoltà insormontabili. Si esaminarono anche, da quel punto di vista, dei fatti che potevano essere conseguenza di quelle oscillazioni di temperatura, ed il giovane Herschel propose perciò un mezzo molto geniale. Egli si disse che una temperatura accresciuta doveva produrre per tutta la Terra un più copioso raccolto; ma poichè questo si rivela coi prezzi medi dei cereali alla borsa mondiale di Londra, egli esaminò questi e trovò realmente un periodo undecennale nei listini dei prezzi dei cereali da essa fissati. Ma questo ragionamento che posa su basi assai deboli, fu da molte parti messo in ridicolo. In realtà non si riuscì a dimostrare in modo incontestabile un'oscillazione periodica di undici anni negli elementi meteorologici, poichè anche le vicende del clima di lunga durata, congetturate da Brückner in Berna, che coinciderebbero col complessivo periodo dell'attività solare prima fissato da Wolf, non possono qui prendersi in considerazione, poichè anche quest'ultimo è esso stesso troppo poco fondato.

In cospetto delle relazioni così intime del corpo centrale col nostro mondo terrestre in ogni ordine di cose, c'è stupire più che non si scoprano nel nostro pianeta le ripercussioni delle potenti pulsazioni del globo solare, che si ripetono ogni undici anni, che se si trovassero così le più rare relazioni. Ci è ben noto come tutta la vita, fin nelle sue più delicate manifestazioni, dipenda dalla luce e dal calore del Sole. Quindi noi non dovremmo cercare la causa dell'esistenza di una simile ripercussione, ma bensì quella della sua mancanza. Questa può spiegarsi solo ammettendo che malgrado il presentarsi di grandi macchie solari, il complesso dell'azione irradiante del Sole non viene alterato. Per quanto concerne i raggi calorifici, abbiamo già altra volta avvertito che esatte misure non poterono in alcun modo dimostrare per le macchie una temperatura minore, chè anzi alcuni osservatori le ritengono più calde della rimanente superficie. Ma a nostro giudizio, la vita sulla nostra Terra dimostra che vi deve essere un compenso al manifesto indebolimento di luce di una parte della superficie solare causato dalle macchie, poichè la fisiologia vegetale potè provare che ad un determinato sviluppo di vita è tanto necessaria una data quantità di luce, quanto l'azione così palese del calorico. La misura della luminosità totale del Sole, o quella delle sue periodiche fluttuazioni, incontra difficoltà tecniche quasi insormontabili, ma il mondo delle piante della nostra Terra somma di continuo queste azioni irradianti. La necessaria compensazione deve assai probabilmente ricercarsi nelle facole, che all'epoca dei massimi di macchie solari rischiarano a loro volta regioni particolarmente estese della superficie sconvolta di luce straordinariamente chiara. Tutto quindi parla come per dire che durante le immani convulsioni, delle quali ci attesta la formazione delle macchie solari, si verificano solamente spostamenti dell'equilibrio delle manifestazioni della forza totale, ma non indebolimento nè rafforzamento generali. Questo dobbiamo aver ben presente, quando ricerchiamo le cause fisiche dei processi solari.

Solamente le azioni polarizzanti che scindono un qualsiasi stato d'equilibrio in un effetto accrescitivo ed in uno diminutivo, come avviene pel magnetismo e l'elettricità, si riflettono chiaramente, non sulla Terra soltanto, ma anche sugli altri corpi celesti prossimi al Sole. Rammentiamo, a questo riguardo, la luce fosforescente sulla parte oscura di Venere, che potrebbe essere una grandiosa aurora boreale, il cui verificarsi sembra essere connesso col periodo undecennale delle macchie. Inoltre dobbiamo qui menzionare la connessione affermata da Berberich tra il periodo delle macchie solari e la frequenza delle comete telescopiche, e la luminosità di quelle periodiche, che dipendono dalle condizioni elettriche variabili dal Sole.

Tutte le particolarità che imparammo intorno alle macchie, al loro vario apparire, alla loro diversa distribuzione sulle zone della superficie solare, noi le ritroviamo nelle facole non meno che nelle protuberanze; in queste ultime però colla restrizione, che queste fiamme s'innalzano bensì attorno al lembo solare, ma solo in quelle zone che a loro volta mostrano talora la massima frequenza di macchie appaiono più frequenti e più grandiose. Per ultimo, onde essere completi, ripetiamo ancora qui che anche l'estensione della corona nello spazio e nel tempo sembra essere legata all'apparizione delle macchie.

Dopo aver così enumerato le principali apparizioni o fenomeni, che l'esame diretto ci rivela sul Sole, nel che lo spettroscopio ci servì solo come mezzo sussidiario, che ci rese servizi nel fotografare alcune particolarità e nel constatare taluni movimenti, dobbiamo ora applicare lo spettroscopio colle sue speciali proprietà alla ricerca della costituzione materiale, chimica delle sostanze che producono i fenomeni che il Sole ci presenta.

Dal capitolo sull'analisi spettrale, noi già sappiamo che la luce solare ci presenta molte migliaia di quelle che sono chiamate linee oscure di Fraunhofer, che rivelano l'esistenza di un'atmosfesa assorbente sopra un nucleo incandescente, e che in massima parte questi vapori atmosferici consistono di metalli, che sulla Terra non sussistono affatto in questo stato vaporoso, o vi si possono portare soltanto con grandissima difficoltà. La semplice e naturale apparenza è d'accordo con ciò perfettamente, giacchè essa rende indubitabile un'atmosfera, ed assieme all'enorme irradiazione di luce e di calore, lascia conchiudere che nell'atmosfera solare incontriamo sostanze molto più difficili a volatilizzare, che non siano quelle che nel nostro involucro aereo terrestre producono condizioni e movimenti di una innegabile rassomiglianza esterna con quelli del Sole.

Lo spettro solare con tutte le sue linee più esili fu in tutta la sua lunghezza misurato esattamente. Lo spettro calorifico, composto di raggi ultrarossi, fu segnatamente per opera di Langley sottoposto ad una minuta disamina; anche in esso si trovano bande di assorbimento, cioè regioni di minore irradiamento calorifico. Lo spettro visibile che termina qui fu misurato con cura particolare da Angström in Upsala, da Vogel, direttore dell'Osservatorio astrofisico in Potsdam, e più tardi da Müller e Kernof dell'istituto medesimo, e dall'americano Rowland, Thollon in Nizza ed altri. Dello spettro delineato da quest'ultimo, si tenne già discorso nel capitolo concernente l'analisi spettrale. Una piccola parte di questo spettro di Thollon è rappresentata nella figura 142. Sono le vicinanze della doppia linea D del sodio (*natrium*). Noi vediamo in essa fra le due linee D_1 e D_2 che sono molto difficili

a separarsi negli strumenti ordinari, molte altre linee. È assai difficile il ritrovarsi in mezzo a questa folla di linee. L'elenco delle linee dello spettro visibile pubblicato nel libro di Scheiner sull'analisi spettrale degli astri contiene 4020 linee fra le lunghezze d'onda 389,5 e 692,5. In quello è pur data la tabella delle linee dello spettro ultrarosso, che secondo la rappresentazione di Abney contiene ancora 590 linee fino alla lunghezza d'onda 986,7. Ma con tutto ciò il numero delle linee d'assorbimento realmente contenute nella luce solare non è esaurito.

Si tratta ora di paragonare queste linee con quelle che sono prodotte da sorgenti terrestri di luce. Si potrebbe credere che ciò si possa ottenere con facilità. Ma invece qui ci urtiamo contro difficoltà derivanti da ciò che non si posseggono misure esatte degli spettri delle sostanze terrestri in numero sufficiente, e sopra tutto non in una forma che permetta un paragone diretto colle misure astronomiche, e ciò forse a causa della grande tediosità del lavoro, ed in parte anche degli ostacoli sperimentali che si incontrano. Si tratta in questo specialmente di piccole differenze dell'unità di misura adoperata, che nell'enorme quantità delle linee di Fraunhofer nello spettro solare, non consentono che le coincidenze dei numeri trovati si riguardino senza altro come comprovanti la reale coincidenza delle linee. A questo proposito Scheiner scrive con molta ragione: " Si può, pur troppo, affermare che oggi si sa meno intorno alla interpretazione delle linee di Fraunhofer, di quanto 10 anni fa almeno si credesse di sapere „. Il chimico che può sottoporre all'analisi spettroscopica sostanze pure quanto è possibile, ed il fisico devono per l'avvenire appoggiare e sostenere di più l'astronomo, se egli deve poter risolvere in modo soddisfacente il suo difficile problema di dimostrare con tutto il rigore scientifico la presenza di sostanze terrestri nel Sole. Thalén ha misurato con tutte le regole più minute dell'arte di osservare 1204 linee del ferro, che è pressochè il solo corpo che

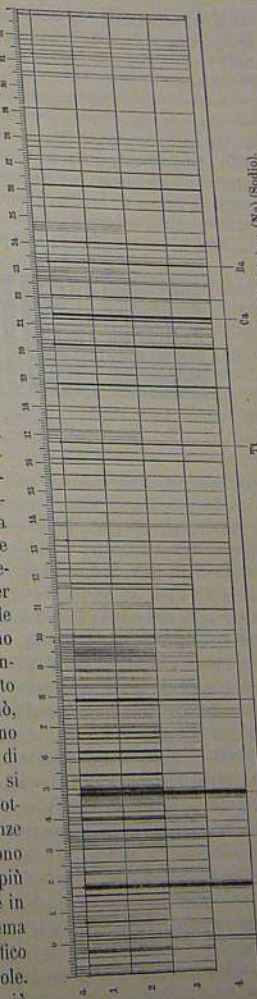


Fig. 142. — Parte dello spettro solare di Thollon, presso la linea doppia del *natrium* (Na) (Sodio).

sia stato esaminato spettroscopicamente con sufficiente esattezza. Quasi tutte queste linee, certo più di mille, furono ritrovate esattamente nella posizione corrispondente nello spettro solare. Le linee mancanti sono di natura dubbia, parte a motivo della loro debolezza, parte per altre ragioni, così che la concordanza dei due spettri si può ritenere come completa quanto è pensabile. Secondo Angstrom la presenza nel Sole dei seguenti elementi è provata a mezzo di coincidenze di linee date dai numeri scritti accanto a ciascuno di essi: titano 118, calcio 75, manganese 57, nichel 33, cobalto 19, cromo 18, bario 11, sodio 9, magnesio 4, idrogeno 4. A questi secondo Lockyer bisogna aggiungere palladio 5, stronzio 4, molibdeno 4, vanadio 4, piombo 3, uranio 3, berillo 3, alluminio 2, gallio 2, zinco 2, cadmio 2, cerio 2 e finalmente il litio con una sola coincidenza. La probabilità, colla quale si può dalle coincidenze conchiudere alla presenza delle sostanze corrispondenti, cresce

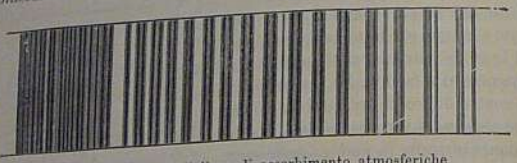


Fig. 143. — Gruppi di linee di assorbimento atmosferiche presso la linea *A* di Fraunhofer.

naturalmente col numero di tali coincidenze, tuttavia non in una ragione semplice, ma bisogna ancora tener conto del numero delle linee che la sostanza possiede. Quando ad esempio sulle linee del ferro che superano il migliaio, se ne riscontrassero solo poche fra le linee di Fraunhofer, si potrebbe benissimo ritenere che si tratti di un caso fortuito, ma quando delle due sole strie possedute d'ordinario dal Litio, se ne ritrova una nello spettro solare, il caso fortuito non rimane per nulla escluso, ma è però meno probabile che nel caso del ferro. Il Sodio, che oltre alla linea doppia ben nota, ne contiene ancora alcune altre deboli, che furono complessivamente ritrovate nello spettro solare, ha la sua presenza nel Sole dimostrata dalle nuove coincidenze dimostrate, assai più sicuramente di quella del ferro colle sue mille linee coincidenti.

Oltre agli elementi menzionati, si congettura che sul Sole ne esistano anche degli altri, la coincidenza delle linee dei quali è difficile a provarsi. Ad essi appartiene l'Ossigeno. Le sue linee si presentano bensì molto numerose nello spettro solare, ma esse si generano nella nostra propria atmosfera e divengono sempre più deboli, quanto più collo spettroscopio noi ci eleviamo sopra i vapori della nostra sfera aerea. Per decidere questa questione, se le linee dell'ossigeno appartengano al Sole, Janssen ha fatto costruire appositamente un osservatorio sul Monte Bianco (vedi fig. 17). Ma non vi si ottennero ancora risultati definitivi. Nella figura 143 noi presentiamo una parte caratteristica delle così dette linee atmosferiche, cioè quelle presso la linea A di Fraunhofer, poste all'estremo rosso. Noi vediamo come queste linee siano particolarmente larghe; molte linee fra loro assai vicine, che non possono essere viste separatamente, formano le così dette bande. Appunto perciò è molto difficile stabilire la coincidenza, ed il

mezzo sussidiario che potrebbe fornirci il principio Doppler-Fizeau non è applicabile, poichè le linee che a cagione del movimento di rotazione del Sole dovrebbero separarsi da quelle dell'atmosfera in riposo rispetto al nostro istrumento, non lasciano scorgere il loro piccolo scarto nell'aspetto diluito delle bande. Esiste una simile incertezza sulla presenza del carbonio nel Sole in causa della difficoltà dell'osservazione. Agli elementi accennati fin qui, Rowland aggiunse di recente il rame, l'argento e lo stagno; egli stabilì inoltre che il carbonio è rappresentato da 200 linee, e comprovò inoltre le seguenti sostanze, ad eccezione del silicio, molto rare cioè: zirconio, scandio, neodimio, lantanio, ittrio, niobio, silicio, rodio, erbio, germanio.

Nel percorrere i nomi di questi elementi, il chimico troverà strano che fra essi non compaia alcun rappresentante del gruppo dei metalloidi, quando si faccia astrazione da una parte dall'Idrogeno, che oggi può venire annoverato fra i metalli, e dall'altra dall'Ossigeno ancora troppo incertamente provato, e finalmente dal carbonio e dal Silicio. Malgrado ciò non si può da questo senz'altro conchiudere alla mancanza di cotali sostanze nel Sole od anche dentro all'involucro direttamente accessibile alle nostre indagini spettroscopiche. Si sa infatti, che in una miscela di vapori metallici e di metalloidi, lo spettro di questi ultimi viene sempre oscurato da quello dei primi, e quindi non può essere visto. Se ad esempio si porta all'incandescenza, fino a volatilizzarlo, del solfuro di ferro nella fiamma di un arco voltaico, immediatamente si manifesta intenso lo spettro del ferro che vi è contenuto, e se il frammento che si esamina era per caso inquinato da piccole traccie di rame, si riconosce subito nello spettroscopio anche la presenza di questo. Ma dello spettro dello zolfo, che nel minerale è contenuto in molto maggior quantità che non i componenti metallici, si scorgeranno solo traccie. Qui ci troviamo ancora di fronte a grandi imperfezioni dei metodi d'indagine a mezzo dell'analisi spettrale. Quindi ne è d'uopo avvertire subito che la presenza nel Sole dell'ossigeno, azoto, cloro, bromo, jodio, fluore, zolfo, selenio, tellurio, fosforo, arsenico, boro, è possibile anche se noi non scopriamo nello spettro le linee corrispondenti di queste sostanze. Se noi facciamo astrazione da questi elementi e da pochi altri che sulla Terra sono straordinariamente rari, e che quindi possono ben anche sottrarsi all'investigazione umana sul Sole, allora nella serie degli elementi a noi noti e non scoperti nel Sole rimangono solamente l'antimonio, l'oro, il platino, il mercurio ed il bismuto.

Queste sono sostanze particolarmente pesanti. Si capisce però facilmente, che gas pesanti (noi non possiamo immaginare queste sostanze nel Sole, che come gas) debbano occupare le regioni infime in un'atmosfera costituita da una miscela. Quindi se non si può dimostrare la presenza di alcun gas pesante nell'involucro esterno del Sole, anche la mancanza dei vapori metallici sovra menzionati non dovrà stupire. Nella lista degli elementi dimostrati dalla coincidenza delle linee, troviamo solamente il piombo e l'uranio che abbiano pesi atomici di simile grandezza. Secondo Angström essi sono resi probabili sul Sole da tre coincidenze. Rowland per contro trova per il piombo una sola coincidenza e classifica ad ogni modo l'Uranio fra gli elementi, la cui esistenza sul Sole è dubbia. Ma a cagione dell'esiguo numero di linee coincidenti, sono permessi dubbi anche sulla reale presenza del piombo; è però possibile che le determinazioni della densità gasosa

di questa sostanza, non basti, e che il suo vapore sia più leggiero di quello che ci conducano ad ammettere le ricerche teoriche.

Non possiamo soffermarci più a lungo su questo campo interessante della teoria atomica e dobbiamo limitarci ad avvertire che i pesi specifici delle sostanze allo stato solido possono stare fra loro in rapporti diversi da quelli dei loro vapori. Se un corpo possiede una densità doppia di quella di un altro, tuttavia i vapori di essi possono essere egualmente densi. Siamo quindi nel giusto se nella lista dei vapori presenti nel Sole, poniamo un doppio punto d'interrogazione di fronte al piombo ed all'uranio, e giungiamo alla conseguenza che i vapori delle sostanze pesanti e relativamente dei metalli non si riscontrano nella fotosfera solare. Tra le sostanze che hanno vapori specificamente leggieri, si notano solamente per la loro assenza il rame, l'argento e lo stagno. Dato quindi lo stato incompleto dei risultati delle nostre investigazioni spettroscopiche, noi siamo autorizzati ad ammettere che non esiste una differenza essenziale fra la composizione chimica del Sole e quella della nostra Terra.

A dire il vero però nello spettro solare rimane ancora una quantità grandissima di linee di Fraunhofer non spiegabili. Esse possono, ovvero non, appartenere a sostanze che non si riscontrano sulla Terra. Tutte le sostanze al cambiare delle condizioni fisiche alterano il loro spettro, e generalmente lo spettro diviene nella pluralità dei casi più ricco di linee, quanto maggiore è il calore, ossia quanto più intenso è lo splendore sotto il quale noi ritroviamo la sostanza che osserviamo. Pertanto molte linee dello spettro solare possono appartenere a sostanze note, senza che ci sia possibile di ciò dimostrare sulla Terra, perchè non siamo in grado di portare le sostanze a condizioni simili a quelle che senza dubbio si verificano sul Sole. L'esperienza però insegna che le linee non cambiano, o cambiano di poco il loro relativo grado d'intensità, al cambiare della forza complessiva; se una linea di una sostanza in certe circostanze è due volte più intensa di un'altra linea della stessa sostanza, essa si mantiene costantemente tale, anche aumentando d'altrettanto la quantità di luce di tutto lo spettro. Da ciò proviene che molte linee sono visibili soltanto con una grande intensità di luce. Se quindi nello spettro solare si trovassero delle linee molto intense che non si possono identificare con quelle di sostanze terrestri, si dovrebbe conchiudere con grande probabilità, che esse appartengono realmente ad un elemento che non esiste sulla Terra. Finora non si è ancora verificato un tal caso fra le linee di assorbimento di Fraunhofer, ma bensì per un sistema di linee chiare, alle quali dedicheremo più avanti una considerazione speciale.

Lo spettroscopio adunque ci ha per prima cosa insegnato che lo strato più eccelso della fotosfera, nel quale galleggiano le masse nuvolose della granulazione, consta di una miscela di vapori metallici, fra i quali mancano quelli delle sostanze più pesanti a noi note.

La parte principale della luce solare emana dalle nubi irradianti luce bianca di questo guscio fotosferico, cioè dalla sua granulazione; al di sopra di esso viene prima trattenuta la parte della sua luce, che nello spettro originariamente continuo appare spenta in quei luoghi ove noi scorgiamo le linee di Fraunhofer. Lo spettro continuo prodotto dalla sostanza dalla quale emana quella luce bianca, non consente, come è noto, di dire cosa alcuna sulla costituzione chimica di

essa; ma permette però delle conclusioni sullo stato fisico degli strati della fotosfera. Come già vedemmo più innanzi a suo tempo, nelle circostanze ordinarie, una fascia colorata non interrotta, non può emanare che da un corpo solido o liquido al bianco incandescente. Ma nel Sole le condizioni non si presentano mai semplici, tutto è colà anormale rispetto alle circostanze terrestri. Noi vediamo nel laboratorio che i gas allargano le linee da essi prodotte, sempre più, quanto è maggiore la pressione alla quale essi medesimi vengono sottoposti, così che per ultimo essi producono uno spettro continuo, anche quando l'intenso calore al quale si trovano esposti, non consente la liquefazione. Nell'immane Sole si può ben immaginare un tale stato. Quindi noi non possiamo dedurre dalle indagini spettroscopiche nulla di certo intorno allo stato d'aggregazione degli strati più profondi del globo solare.

Ma Scheiner nota, molto giustamente, che qui deve trattarsi di strati separati nettamente dalle nubi della fotosfera, i quali sono, probabilmente, chimicamente diversi da quelli sovrastanti. Se quindi, come nella nostra atmosfera, la pressione aumenta dall'alto al basso, fino alla grandezza alla quale un gas dovrebbe lasciar scorgere uno spettro continuo, allora anche le linee della fotosfera dovrebbero mostrare il graduale trapasso, cioè convertirsi in fascia. Ma poichè esse per contro appaiono nettamente limitate, così lo strato propriamente luminoso immediatamente al disotto, deve anche essere nettamente separato dalle nubi metalliche assorbenti. Quella condizione è di per sè soddisfatta sia quello solido o liquido; ma se è allo stato gasoso, una tale delimitazione può solo avvenire quando lo strato inferiore abbia un peso specifico notevolmente diverso dal superiore; il che è pur solo possibile con una diversità di sostanza. Ora poichè per ragioni fisiche non si può pensare ad uno stato solido o liquido di questi strati del globo solare incandescente situati ancora relativamente molto in alto, rimane soltanto la possibilità di due strati di gas nettamente l'un dall'altro distinti. Noi d'altronde vedremo che lo spettroscopio ci fa distinguere sopra la fotosfera due, o meglio tre, strati gasosi ben determinatamente staccati.

Probabilmente, si poteva aspettare anche delle cognizioni esatte su quegli strati più profondi, non più accessibili alla nostra osservazione diretta, dall'investigazione spettroscopica delle macchie solari. Si era infatti fino ad oggi ripetuta molte volte l'opinione che le macchie fossero depressioni, cavità, nello strato fotosferico, a mezzo delle quali era possibile penetrare colla vista nelle più profonde regioni. Alcuni astronomi, Secchi in particolare, credevano di aver realmente notato che le macchie producevano sul lembo solare un incavo. Però questo non fu mai di poi veduto con sicurezza, ed è agevole il comprendere come in tali condizioni sia facile l'incorrere in una illusione, giacchè si è inclinati a credere che i luoghi scuri al lembo del disco solare siano realmente intagli.

Le osservazioni spettroscopiche mostrano un allargamento ragguardevole delle linee di Fraunhofer, non appena si dirige la fessura sopra una macchia solare. Ciò attesta, in questi luoghi oscuri, di un assorbimento, ragguardevolmente più forte, della luce che proviene dagli strati più profondi. Inoltre lo spettro continuo appare complessivamente indebolito. Se avvenisse solamente questo, si avrebbe qui a che fare unicamente con una diminuzione generale della potenza luminosa, che si potrebbe immaginare cagionata da ciò che sugli strati più profondi congetturati

liquidi e sottostanti alla fotosfera, galleggino delle scorie, che ripeterebbero la loro origine da un processo di raffreddamento in quelle regioni. Zöllner cercò di spiegare a questo modo l'originarsi delle macchie solari. Lo spettroscopio ammette la possibilità di tali scorie, ma ad esse bisogna aggiungere qualche altra cosa, che renda ragione del più forte assorbimento. Intorno a ciò si possono ancora fare due supposizioni: che cioè la luce abbia ad attraversare in quei luoghi degli strati atmosferici più spessi, ovvero che i gas nelle macchie solari debbano essere ragguardevolmente più freddi e più densi, affinchè essi possano assorbire in modo cotanto più intenso. Come già dicemmo, non si potè dimostrare sperimentalmente una minore irradiazione calorifica delle macchie, ed anche una densità maggiore è molto improbabile. Si deve tanto più tener conto di tutte le circostanze, in quanto che le gigantesche fiamme, che appaiono al lembo solare, talvolta erompono dalle macchie solari. Spesso nel mezzo di una linea allargata di una macchia, ad esempio del sodio (vedi fig. 144), si è visto una parte lucida, che non può essere spiegata altrimenti che da una così fatta eruzione luminosa. Anche gli spostamenti delle linee dimostrano un vivace movimento ascendente della materia nelle macchie, che può essere attivato solo a mezzo di una densità di essa minore. Non ci rimane quindi più altro a fare che riguardare la macchie solari come aperture nello strato fotosferico, attraverso alle quali si vede a più grandi profondità nel globo solare. Con ciò però non è ancora detto che viste di profilo esse debbano aparire come cavità; esse possono al contrario essere dei rialzi, formati da gas, che vengono qui sospinti sopra il livello della fotosfera, ed a questo modo esercitano un più forte assorbimento. Sykova, in base alle sue misure eseguite all'Osservatorio di Charkow, crede di poter realmente ritenere che il Sole, nella direzione di una macchia che appare o scompare al suo lembo, è più grande che nelle altre direzioni.

La conversione delle linee chiare in oscure avviene segnatamente per quelle dell'idrogeno, che ben presto noi impareremo essere il costituente essenziale delle protuberanze. Le linee lucide appaiono repentinamente, specialmente quando sopra il nucleo d'ombra di una macchia si protende un ponte luminoso, e Tacchini in una tale circostanza, dirigendo il suo spettroscopio nel modo tenuto per l'osservazione delle protuberanze al lembo solare, fu una volta tanto fortunato da vedere, in mezzo al Sole, una fiamma erompere da una macchia.

Non tutte le linee dello spettro solare si allargano nelle macchie, ed anche non tutte complessivamente nel modo istesso. Alcune linee che nelle circostanze ordinarie sono affatto insignificanti, spesso in una macchia diventano oggetti notevoli, mentre altre appaiono appena appena modificate. Le linee del ferro si rinforzano in modo speciale; fra 116 linee, che Vogel misurò in una macchia solare il 24 e 25 marzo 1873, si trovavano 74 linee del ferro, e solamente alcune appartenenti al nickel, cobalto, calcio, magnesio, manganese e titanio. Due linee sembravano procedere dal rame: nessun nuovo elemento si presenta nelle macchie. È molto notevole che l'allargamento di alcune linee si verifica solamente da una parte, così che quelle perciò sembrano sbiadite soltanto verso un'estremità dello spettro. Un fatto simile vien constatato quando si ha a che fare con composti di elementi, specialmente dei metalli con quei metalloidi (ad esempio ossigeno) la cui presenza sul Sole non si potè dimostrare direttamente a mezzo dello spettroscopio. Quindi

mentre in tutti i punti del corpo centrale incandescente noi riscontriamo ancora tutti gli elementi allo stato di dissociazione, separati ed inatti a combinarsi assieme chimicamente, sembra che nelle macchie solari si arrivi almeno eventualmente a combinazioni chimiche.

Lo spettro delle facole si distingue da quello della rimanente superficie solare solamente per la maggiore intensità della fascia colorata continua, ma non mostra alcuna nuova linea lucida od oscura. Questi luoghi o splendono realmente più intensamente, o si trovano in situazione più elevata, così che i raggi che si dipartono da essi debbono attraversare soltanto un più breve tratto dello strato assorbente. Entrambe le circostanze possono anche agire contemporaneamente. Altri fatti ancora provano che le facole sono rigonfiamenti dello strato fotosferico. A motivo di un tale modo di comportarsi delle facole nello spettroscopio non si può dubitare che le macchie lucide che Hale ha fotografato nel suo spettroeliografo (v. fig. 136), siano realmente facole e non già protuberanze. Hale è d'avviso che i due fenomeni siano identici, altri investigatori tengono l'opinione contraria. È lecito il ritenere che poichè senza dubbio anche sul disco solare, e non solamente al suo lembo, si devono riscontrare delle protuberanze, sebbene non divengano visibili, così è pur permesso pensare che nel modo solito di osservare, le proprietà caratteristiche delle protuberanze vadano perdute, e persistano soltanto quelle delle facole, mentre il metodo particolare di selezione del procedimento spettrofotografico di Hale, lascia apparire le facole-protuberanze come tali. Ma la questione non è decisa.

Fig. 144. — Linee *D*, nello spettro di una macchia solare: Variazioni delle linee di assorbimento sopra una macchia solare.

Fu già detto che le protuberanze si danno a riconoscere a mezzo delle loro linee lucide. Pare che in taluni rari casi tutte le linee oscure dello spettro solare possano momentaneamente presentarsi come lucide nelle protuberanze. Ma in esse si riscontrano sempre, quali sono, caratteristiche, le linee dell'idrogeno e due altre: una presso 587,6, affatto vicina alla linea doppia del sodio e perciò indicata con D_3, l'altra presso a 531,7 μμ. La prima di queste linee non si presenta come linea nera di Fraunhofer nello spettro della fotosfera, e fino a poco tempo fa nessuna di esse era stata identificata con linee di sostanze terrestri. A causa della lucidità della linea D_3 particolarmente, quasi sempre molto grande, si ritenne per assai probabile, di trovarsi di fronte ad una sostanza che si presenta soltanto sul Sole, quindi ad un nuovo elemento scoperto dallo spettroscopio sul Sole lontano, e che fu chiamato *elio*.

Le osservazioni spettroscopiche permettevano solo di congetturare qualche cosa sul peso specifico di questa estranea e lontana sostanza. Le linee lucide delle protuberanze hanno la specialità di farsi a punta nell'istrumento rivolto per la loro osservazione al lembo del Sole, ciò però non nelle fiamme stesse, ma bensì in uno strato del quale discorreremo ben presto, e che sovrasta alla fotosfera, ed è formato dalle sostanze delle protuberanze. Questo acuminarsi delle linee si può spiegare soltanto con un aumento della quantità delle sostanze corrispondenti a partire dal lembo solare in là. Si supponga che in questo caso la fessura dello spettroscopio sia diretta normalmente al lembo del Sole, cioè nella direzione del raggio. Se le

linee aumentano d'intensità andando verso l'alto, ciò prova che a noi perviene un numero di raggi della specie corrispondente sempre più grande quanto più ci allontaniamo dal lembo. Ora la linea dell'elio scende alquanto più giù di quelle dell'idrogeno. Quindi le sostanze nell'involucro solare sono ordinate all'indigrosso secondo il loro peso, il che d'altronde non potrebbe non essere; quindi l'elio deve essere alquanto più pesante dell'idrogeno, ma tuttavia appartenere agli elementi più leggieri, poichè esso occupa gli strati più eccelsi del Sole.

Tutte queste congetture che non su altro si appoggiano che sull'analisi spettrale, furono confermate nel modo più brillante, quando Ramsay scoprì realmente questo elio nel 1895, in un raro minerale trovato da Nordenskiöld nell'alto settentrione, e chiamato *clevite*. Esso fu constatato nel minerale contemporaneamente all'argon di recente scoperto, in quantità relativamente grande, e mostrò accanto alla famosa linea D_3, anche altre linee più deboli. Il nuovo gas si mostrò realmente più pesante dell'idrogeno, ma di molto più leggiero di tutti gli altri elementi conosciuti. Questa scoperta dell'elio fatta dal chimico, deve riguardarsi come il più grandioso trionfo di quella meravigliosa arte dell'analisi della luce a mezzo del prisma. D'allora in poi l'elio, sempre misto coll'argon, fu trovato in altri minerali, in sorgenti minerali, e anche (da Kayser) nell'aria della nostra atmosfera, però sempre in quantità minime, e finalmente, come fu già menzionato in un altro luogo, in un meteorite.

Non si sa se l'argon si riscontri anche sul Sole. Deslandres ha fatto osservare che il gas ottenuto dalla clevite mostra una linea presso 706,55 che viene attribuita all'argon e che si trova anche nell'involucro solare più esterno che noi conosceremo ben presto come la cromosfera. Il nominato astrofisico parigino, da un certo modo di presentarsi delle linee dell'elio e dell'argon, conchiude che i due non siano veri elementi, ma bensì combinazioni di una sostanza di base ancora sconosciuta, la quale quindi si riscontra in grandi quantità, tanto nell'atmosfera terrestre, come argon, quanto in quella solare, come elio. Però la nostra conoscenza di queste sostanze è ancora troppo recente, perchè possa permettere una decisione sicura circa l'opinione da adottarsi.

L'altra linea 531,7, detta linea della corona, che si presenta nei più eccelsi strati del Sole, non fu spiegata dalla scoperta di quei due nuovi elementi. Si deve quindi ancora ricercare un'altra nuova sostanza, alla quale si è dato preventivamente il nome di coronio: e dobbiamo aspettarci ad un nuovo trionfo dell'avvenire.

È molto facile il dimostrare a mezzo dello spettroscopio, che alla fotosfera sovrasta uno strato relativamente sottile degli stessi gas, che sono talvolta sospinti nelle protuberanze molto più lontano. Nelle eclissi solari questa cromosfera è accessibile anche all'osservazione solare, e forma allora un'aureola luminosa colorata in rosa che ha fatto dare a questo strato il suo nome. Essa consta essenzialmente di idrogeno, elio e coronio.

Però la cromosfera non posa direttamente sulle nubi della fotosfera: fra esse deve stare ancora uno strato, il cui assorbimento produce le linee di Fraunhofer. Nelle eclissi solari lo si potè effettivamente constatare, giacchè per un istante si vide tutte le linee di Fraunhofer splendere lucidamente. Evidentemente ciò può soltanto accadere finchè lo strato propriamente luminoso è di già

coperto dalla Luna, ma non lo è ancora quello assorbente. Quindi le nubi metalliche raggianti della fotosfera occupano al pari delle nostre nubi le regioni che non sono le più elevate di questa atmosfera, ma tra le loro più alte giaciture ed il limite superiore della fotosfera sta uno spazio che contiene tutte le sostanze che sono attestate dalle linee di Fraunhofer, e che secondo Pulsifer ha l'altezza di 120 miglia (900 km.). Qui soltanto incomincia l'atmosfera d'idrogeno color di rosa, la quale è notevolmente più alta, probabilmente due o tre volte tanto.

Ma qui non termina la serie di strati dei quali consta l'involucro solare. Noi sappiamo già che molto lontano sopra le regioni nelle quali erompono le più alte protuberanze, si elevano i precursori della misteriosa corona, che nelle eclissi di Sole circondano l'astro come di un'aureola. Lo spettro della corona, oltre che di una fascia colorata continua, consta essenzialmente della linea nel verde già tante volte menzionata. Quando avendo diretta la fessura secondo il raggio, si mostrano le linee acuminate, anche fuori delle eclissi la linea della corona giunge sempre fino al punto più lontano. Lo sconosciuto coronio deve quindi avere un peso atomico inferiore a quello dell'idrogeno, il più leggiero fra i corpi a noi noti. Probabilmente a cagione di ciò, questa sostanza non si riscontra negli infimi strati della nostra atmosfera più di quello che avvenga negli analoghi strati dell'inviluppo solare. Non sarebbe quindi impossibile, che anche la Terra possedesse una corona, e che l'areonauta potesse portarcene giù delle traccie dai più eccelsi strati dell'aria. Lo spettro solare della corona deve provenire da particelle solide, che sono addensate nei dintorni del Sole e che ne riflettono la luce: ciò è confermato anche dal polariscopio.

Dopo aver così passato in rassegna i principali fatti raccolti dall'osservazione sopra il Sole, crediamo utile di riunirli in una esposizione complessiva, che ci rappresenti la costituzione fisica del Sole, ed i processi che si svolgono su di esso. Si deve così stabilire una teoria del Sole. In presenza però dell'abbondanza di materiale che abbisogna ancora di spiegazione e delle condizioni estreme dominanti sull'astro centrale, ciò è estremamente difficile. Si sono enunciate molte di tali teorie, senza che alcuna di esse abbia ottenuto nei circoli competenti un'accettazione intiera, e così accade che noi siamo rimasti più al buio, circa al massimo corpo cosmico che ci sta vicino, e che giornalmente si offre al nostro occhio per lo studio colla sua luce raggiante, che non intorno a molti altri corpi celesti, dell'esistenza dei quali abbiamo avuto contezza soltanto a mezzo del cannocchiale. Il Sole adorato altra volta come divinità è rimasto pur sempre qualche cosa di sovrumano per la nostra intelligenza.

Dopo aver determinato entro certi limiti numerici l'enorme temperatura del Sole e la sua potenza irradiante, ci deve sembrare molto strano, che ancora fin verso la metà del secolo decimonono, sulle orme di Herschel il vecchio, si sia riguardato assai generalmente il nucleo solare sottostante agli inviluppi lucenti più esterni come un corpo solido oscuro, che poteva anzi essere abitato da esseri somiglianti all'uomo. Herschel, e prima di lui Wilson, dotto di Glasgow, ammettevano nell'atmosfera solare due strati, dei quali uno irradiava verso l'esterno, l'altro, più profondo, doveva riparare il nucleo solare da questa irradiazione eccessiva. Si poteva concepire quell'atmosfera interna costituita, ad esempio, da dense nubi nere di fumo. Ma se un così fatto stato fosse esistito in un qualsivoglia istante, dopo un tempo relativamente breve, il calore raggiante dello strato

esterno avrebbe però dovuto trasmettersi all'interno, così che almeno vicino alla sua superficie il nucleo centrale solido avrebbe dovuto a sua volta divenire liquido ed incandescente. Un nucleo liquido incandescente dovette venire poi ammesso subito dopo che l'analisi spettrale fu applicata ai corpi celesti. Kirchhoff, che assieme a Bunsen aprì questo ramo di ricerca che farà epoca, edificò su di esso l'edifizio delle sue idee sul Sole, che estese da Zöllner ed altri, ebbero valore fino a questi ultimi tempi.

Ma varie difficoltà contrastano pure l'ipotesi di un nucleo liquido. Infatti si può mostrare, fin quanto è lecito l'estendere i risultati dei nostri laboratori, che nessun corpo gasoso può essere convertito in liquido, quando esso si trova al di là di una certa temperatura critica. Però il passaggio allo stato liquido viene accelerato dall'accrescimento di pressione, cioè la temperatura critica si abbassa al crescere della pressione; ma anche ciò ha un limite determinato, oltre il quale si può comprimere un corpo finchè si vuole, senza che esso perda le proprietà caratteristiche di un gas. Si può poi ancora affermare che anche alle temperature più basse ammessibili nel Sole, tutte le sostanze a noi note debbono conservarsi gasose; anche quando siano sottoposte alle più alte pressioni che noi sappiamo produrre. Ora fuori di dubbio del pari è che nell'interno del Sole domini una pressione degli strati superiori, così grande da non potersi da noi immaginare, e sugli effetti fisici della quale noi non possediamo alcun dato sperimentale, nè possiamo formare congetture che abbiano un qualche fondamento. Solo è sicuro che colà le particelle di massa devono essere così compresse e addensate, che le masse di gas debbono comportarsi praticamente come liquidi od anche come solidi, esse devono quasi essere immobili. La spettroscopia ci ha insegnato ancora, che sotto alte pressioni i gas devono comportarsi otticamente come corpi liquidi incandescenti.

Ma a cagione appunto di questo nucleo indubbiamente molto denso e molto pesante, il quale ad ogni modo deve comportarsi come liquido incandescente, è impossibile l'ammettere che gli strati superiori, dei quali noi giungiamo ancora ad aver conoscenza a mezzo dell'osservazione diretta, si trovino in questo stato; noi intendiamo parlare dello strato che si trova immediatamente sotto le nubi granulari della fotosfera, producente lo spettro continuo, e che Kirchhoff ritiene sia liquido. La densità complessiva contraddice a questa ipotesi, essendo essa stata, con metodi che saranno esposti nella seconda Sezione del presente Trattato, trovata eguale a circa un quarto di quella della Terra. Ora poichè noi abbiamo veduto che la massima parte della materia solare deve essere addensata nell'interno, così per gl'inviluppi esterni rimane solo più ammissibile una densità così tenue, sopra tutto in considerazione dell'enorme calore, che non si potè ammettere che i gas potessero con essa liquefarsi. Il prodursi dello spettro continuo era stato in qualche modo spiegato come segue: a cagione del raffreddamento degli strati più eccelsi e quindi più prossimi allo spazio celeste, si produce una condensazione nell'interno delle nubi metalliche della fotosfera, dalle quali piove in forma di goccie liquide incandescenti; non appena questa pioggia infuocata giunge in regioni più profonde, nelle quali domina una temperatura più elevata, essa si converte di nuovo in vapore metallico. Cosa analoga avviene sulle nostre nubi, dalle quali non piove fino alla superficie della Terra. In realtà piove da ogni nube; questa, per quanto possa sembrare invariata, fornisce sempre all'aria al suo limite inferiore, dell'umidità in

piccole goccie, e lo sostituisce al disopra colla formazione di nebbia. Se lo strato d'aria sottostante alla nube si trova ancora in condizioni di assorbire dell'umidità, cioè di dissolverla, allora esso rimane trasparente; le goccie si vaporizzano ancora, e non può piovere. Tali sarebbero anche le condizioni sul Sole, e la pioggia incandescente gocciolante fuori dalle nubi della fotosfera, dovrebbe essere riguardata come il vero mezzo irradiante la luce.

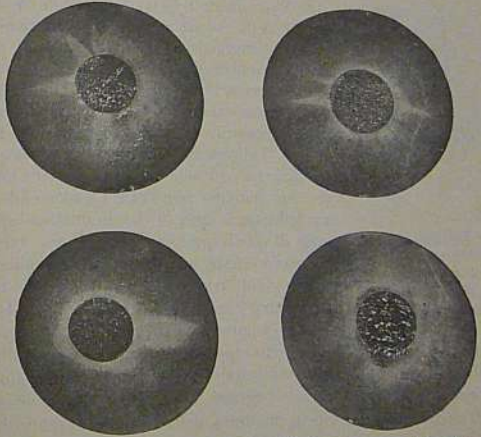


Fig. 145. — Corona artificiale, prodotta da Pupin con scariche elettriche.

Stabilita una volta l'analogia colle condizioni della meteorologia terrestre, non riesce più difficile il paragonare anche altri processi dell'atmosfera solare con quelli della nostra. Le macchie solari diventano turbini giganteschi (secondo Faye) nel cui centro stanno nubi oscure violentemente lacerate; circolazioni di masse di gas, prodotte dall'elevata temperatura interna del nucleo, cagionano spostamenti periodici delle zone delle macchie, cioè della regione della massima frequenza delle tempeste, come si constata pure sulla Terra. Oggi noi ignoriamo ancora come nel cozzo delle masse aeree circolanti l'una dentro l'altra le elettricità si separino e producano gl'imponenti fenomeni dei temporali, così ci è permesso anche di ammettere senz'altro che nelle presupposizioni fatte debba avvenire sul Sole qualche cosa di simile. Non dobbiamo pertanto meravigliarci delle agitazioni dell'ago magnetico all'apparire di una grande macchia solare.

Anche la struttura speciale della corona può riferirsi ad azioni elettriche o magnetiche. Le riproduzioni di alcune fotografie nella figura 145, rassomigliano alla corona in modo da ingannare: esse si ottennero a mezzo di scariche fra due sfere di gas, le quali erano disposte come appare dalla figura 146. La sfera minore *a* era ripiena d'acqua acidulata e collegata con un polo dell'induttore elettrico. Essa era contenuta nella sfera maggiore *b*, nella quale si era fatto quasi il vuoto, e che era

rivestita nel suo interno di stagnola, la quale era in comunicazione coll'altro polo. Dalla sfera piccola si dipartivano uniformemente e di continuo dei raggi a corona. La sfera grande rappresenta lo spazio cosmico, che a cagione del suo contenuto di meteore, può riguardarsi come sufficientemente conduttore per produrre simili fenomeni. Poichè la corona, come lo spettroscopio ne attesta, contiene delle parti solide, così la scarica può effettuarsi a mezzo di queste.

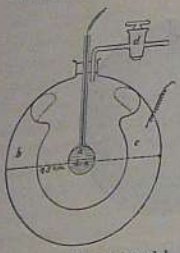


Fig. 146. — Disposizione dell'apparecchio per un esperimento della produzione artificiale di una corona di raggi, eseguito da Pupin.

Anche per questo rispetto si è avvertito che le esili linee radiali della corona corrono nella direzione delle *linee di forza*, magnetiche od elettriche, come mostrano le particelle o filamenti della limatura di ferro attorno ad un polo magnetico (vedi figura 147). Ora poichè per quanto ci consta, nello spazio cosmico sta sospesa molta polvere meteorica la quale contiene molto ferro, e che circonda il gigantesco magnete solare come quella limatura di ferro, così nello stato attuale delle nostre cognizioni, noi potremo riguardare i fenomeni della corona come abbastanza spiegati. Le diramazioni spesso assai lunghe di quella possono essere distese verso regioni dello spazio celeste, ove si trovano accumulazioni della sostanza conduttrice, le quali facilitano la scarica. Fu già detto più sopra che Deslandres riguarda la corona come un fenomeno paragonabile ai raggi catodici. Questa opinione si appoggia, in un certo rapporto, a quella sviluppata dianzi.

Le opinioni svolte intorno al Sole hanno in ogni caso il vantaggio di poter essere comprese a mezzo di analogie terrestri. E per fermo noi vediamo che in generale, nell'universo tutto si ripete, che tutto, dall'avvenimento più insignificante al più grandioso, procede di pari passo. Un'atmosfera costituita di vapori metallici ad una temperatura inconcepibilmente alta, può, nei suoi tratti principali, comportarsi in qualche modo analogo al nostro involucro aereo pieno di vapori d'acqua. Ma poichè non è necessità che ciò si così, noi perciò, nel caso del Sole che in ogni rispetto oltrepassa la nostra forza di concepimento, non possiamo respingere altre opinioni, anche se queste dovessero condurci a condizioni anormali. Così il danese Brester, ad esempio, sostiene l'opinione che tutto sul Sole si trovi in riposo quasi assoluto, e che le macchie solari ripetano la loro origine da processi chimici, anzichè da avvenimenti fisici. Secondo la sua opinione si producono in questi luoghi delle combinazioni chimiche degli elementi che vi si trovano dissociati, le quali conferiscono alla superficie il suo aspetto alterato.

In particolare poi Brester ed altri investigatori ritengono che sia impossibile il riguardare come veri fenomeni eruttivi le protuberanze solari che con velocità inaudita si dipartono dal lembo solare. Si ammetta pure che nell'interno del Sole agiscano ancora forze così potenti: vi sarà pur sempre d'altra parte la forza di attrazione alla sua superficie, la quale, come si può con sicurezza determinare, è almeno 28 volte superiore alla nostra, che porrà un limite a quelle forze di proiezione. Di più, a queste tremende esplosioni dovrebbero precedere tensioni tremende, che non sono per noi concepibili in un corpo gaseiforme. Si è pertanto quasi costretti ammettere, che nelle protuberanze non troviamo vere emanazioni

e projezioni di materia, ma solo delle trasmutazioni di materia che si propagano rapidamente; quella materia starebbe già in quel luogo, ma ci apparirebbe sotto forma di protuberanze solo in conseguenza di quelle trasmutazioni. Ciò, ad esempio, è possibile a mezzo di scariche elettriche, che dipartendosi dal globo solare e scattando al di fuori come fulmini, portino all'incandescenza l'idrogeno dell'avvolgimento solare esterno. Brester anche qui crede a mutazioni fisiche e chimiche, e fa al riguardo notare che anche nella nostra atmosfera la formazione delle nubi sembra propagarsi con velocità grandissima, mentre non è la materia stessa della nube che scorre così rapidamente, ma soltanto il processo di condensazione.

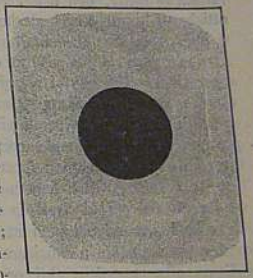


Fig. 147.— Disposizione dei filamenti di limatura di ferro attorno al polo di una calamita (Linee di forza).

Augusto Schmidt in Stoccarda ha di recente emesso un'altra teoria solare, che negli ultimi anni si è conquistato molti autorevoli aderenti; essa è atta a produrre una rivoluzione ancora più radicale nelle nostre idee intorno al corpo centrale; e scuote direttamente tutte le nostre vedute intorno alla costituzione fisica del Sole. Essa è proceduta da considerazioni ottiche teoriche, che non si possono, pur troppo, svolgere in breve in modo facilmente intelligibile. Dobbiamo perciò contentarci di accenni, tanto più che la possibilità di applicare quella teoria al Sole è ancora in discussione. Si sa che un raggio di luce è rifratto quando passa per il limite di due mezzi di densità diversa: il cannocchiale e le sua proprietà ripetono la loro origine da questa legge. Così si produce anche quella che è chiamata la rifrazione astronomica, a cagione della quale il Sole viene apparentemente innalzato sopra il nostro orizzonte, mentre si trova ancora al di sotto di esso. Un raggio di luce, deve a seconda dell'altezza, attraversare strati d'aria diversamente densi, e viene perciò poco per volta incurvato nella nostra atmosfera; ed infatti a grandi distanze si vede una cosa, per così dire, anche girato l'angolo. Ora sulla Terra quest'incurvamento è molto minore della curvatura della superficie di essa. Ma tanto maggiore è un corpo tanto meno è incurvata la sua superficie. Però in eguali condizioni atmosferiche l'incurvamento del raggio luminoso non cambia. Ora non è difficile immaginare un caso nel quale le due curvature siano uguali. Allora il raggio rimane sempre egualmente lontano dalla superficie della sfera. Se noi ci immaginiamo di stare sopra un simile corpo celeste e di guardare direttamente davanti a noi, allora la visuale ci conduce intorno al corpo cosmico, al quale gira attorno, fino a venirci di nuovo ad incontrare nella schiena, cioè noi vediamo davanti a noi la nostra propria schiena, però alla distanza corrispondentemente accresciuta. Il raggio luminoso corre costantemente più lontano intorno al corpo celeste, senza mai abbandonarlo.

Si può d'altra parte stabilire col calcolo che sotto certe condizioni, del tutto accettabili, sull'aumento della densità degli strati gasosi verso l'interno di una sfera di gas eguale a quello del Sole, può accadere lo stesso anche con un numero di raggi diversamente diretti, i quali, cioè, sebbene in principio diretti verso lo spazio

cosmico, non abbandonino mai il loro corpo irradiante, o se ne stacchino solo dopo un certo numero di giri ed in luogo affatto diverso. La teoria insegna inoltre che certi strati debbono particolarmente catturare dall'interno e trattenere molti di questi raggi circolari. Quindi delle forme nubilose che stessero sospese in tali luoghi sarebbero molto intensamente illuminate. Così qui si genera una delimitazione ottica, non fisica. Se quindi il globo solare soddisfa alle condizioni ottiche di questa teoria, al che non si oppone alcun fatto d'osservazione, allora si può, senza alcuna delimitazione di sorta, andar perdendo gradatamente nello spazio cosmico coi diversi strati (fotosfera, cromosfera, corona) e quindi mostrare la separazione ottica che vi scorgiamo. Il diametro solare quindi, quale noi lo misuriamo e sul quale noi appoggiamo tante conclusioni importanti, non sarebbe altro che un'illusione. Ma v'ha di più. Noi dicemmo poco più sopra che molti raggi provenienti dall'interno del corpo non se ne staccherebbero che in luoghi molto diversi da quelli nei quali furono emessi. Pertanto, le macchie solari, le protuberanze, e tutti gli altri fenomeni di varia indole, che noi abbiamo scorto, possono venir del pari derivati da questa regione di falsa riflessione delle immagini, ed anche i processi dei quali in essi si tratta, possono svolgersi in luoghi differenti, e precisamente a considerevole profondità nel globo solare, mentre noi li vediamo alla superficie. Qui occorre confrontare, senza opinioni preconcette o prevenzioni, i fatti colla teoria, per decidere fino a qual punto questa si possa innestare nelle nostre odierne opinioni riguardo al Sole.

Al fine delle nostre considerazioni sull'immane corpo solare, dal quale noi e certamente altre innumerevoli creature sugli altri pianeti ripetiamo tutte le nostre gioie ed i nostri dolori, dobbiamo confessare che esso ci diviene tanto più misterioso, quanto più accuratamente noi ci addentriamo nel suo studio. Fra tutti i corpi dell'universo che ci circonda esso è quello che ci è rimasto più incomprensibile, giacchè non solo nel suo complesso, ma anche in tutte le sue particolarità sorpassa di molto tutto quanto noi possiamo scorgere sulla nostra minuscola Terra. Ma d'altra parte, a nostra tranquillità, noi riconosciamo altresì che quella grandezza sovrumana, nell'elargizione dei suoi benefizi a noi indispensabili, spiega e manifesta anche una costanza oltrepassante i limiti della nostra capacità intellettuale. Doveva quindi presentarsi spontanea la domanda, se la forza irradiante dell'inesauribile dispensiere possa o debba un giorno indebolirsi. L'esperienza non ci consente al riguardo alcuna conclusione sicura. Le temperature medie, che da circa un secolo vengono misurate sulla Terra, non si sono da quel tempo alterate neppure della più piccola frazione avvertibile di un grado centigrado. Le oscillazioni del clima, che Brückner particolarmente crede d'aver trovato, come già dicemmo, non sono ancora state saggiate da un lasso di tempo abbastanza lungo, perchè si possa su di esse appoggiare una qualsiasi conclusione sulle variazioni della temperatura solare. Anche se non si potesse, sulla Terra, dimostrare la costanza del calore solare sarebbe ancora sempre dubbio, se in ciò non si riscontri un fenomeno periodico simile a quello delle macchie solari, così che ad una diminuzione segua sempre un aumento. Inoltre le cause ne possono essere puramente terrestri, quali ad esempio si possono congetturare per il ritiro dei ghiacciai alpini, presentemente notato ovunque. Il clima stesso di una larga zona terrestre è una funzione del tempo altrettanto complicata.

Si credette di aver trovato negli avanzi lapidei della nostra crosta terrestre, che ci permettono di spingere lo sguardo nella più remota antichità, delle prove sicure di un graduale raffreddamento superficiale. Si trovarono avanzi di esseri organici tropicali, in strati che appartengono ad alte latitudini, e quanto più si saliva verso la superficie partendo da questi strati, tanto maggiormente gli avanzi degli esseri divenivano simili a quelli degli organismi viventi nella regione medesima. A dire il vero già alcune diecine di anni fa, dopo quelle conclusioni, si presentava un punto d'interrogazione nella scoperta del fatto che salendo ci s'imbatte in traccie di un'epoca glaciale, ove attualmente regna una temperatura decisamente più elevata. Il clima quindi colà si è posteriormente fatto di nuovo più caldo. Nei tempi moderni si è riconosciuto che si ebbero molte di tali epoche glaciali, fra le quali se ne intercalarono sempre delle più calde, e che si potevano seguire cotali oscillazioni geologiche del clima fino a millioni d'anni indietro, indubbiamente trascorsi dal periodo carbonifero, nel quale felci gigantesche avevano invaso il paesaggio terrestre, come i nostri tropici da lungo tempo non vedono più. Quindi nello stato attuale della giovanissima scienza geologica, in base agli avanzi ritrovati, non si può stabilire se lo stato climatico di tutta la Terra sia venuto progressivamente modificandosi; è altresì possibile, come vedremo meglio ancora, che durante un'intiera serie di epoche geologiche siano avvenuti soltanto spostamenti delle zone climatiche del globo terrestre, in causa di un cambiamento della sua posizione rispetto al Sole. La struttura della corazza granitica della Terra, che non alberga in sè alcun avanzo di esseri organici, e che occupa la posizione infima di tutte le roccie, mostra che la superficie del nostro pianeta deve essere stata altra volta così calda, che questo granito si trovò allo stato di liquido infuocato. Ma qui era evidentemente la Terra medesima che forniva il calore a ciò necessario. Quindi se si potesse realmente dimostrare una graduale diminuzione di temperatura, pur astraendo dalle oscillazioni delle epoche glaciali, la causa ne potrebbe essere cercata tanto nel lento raffreddamento della Terra, quanto in quello del Sole. La geologia pertanto, contrariamente a precedenti opinioni affrettate, non ci esibisce alcuna conclusione sicura intorno ad un qualsiasi mutamento della temperatura del Sole.

Del pari noi possiamo con sicurezza affermare che le manifestazioni straordinarie dell'energia solare, delle quali abbiamo cercato di dare una idea nell'introduzione di questo capitolo, nonchè la provvigione di calore, che deve essere contenuta nel Sole in un dato istante, avrebbero dovuto ben presto venir meno, quando da una qualunque altra parte non venisse provveduto al suo rifornimento. Poichè, approssimativamente almeno, sappiamo misurare la quantità di calore che la sola Terra riceve dal Sole, e quindi anche la quantità di calore che il Sole irradia in tutto lo spazio, così risulta che nelle supposizioni più favorevoli la temperatura di tutto il globo solare dovrebbe diminuire annualmente di circa 3 gradi, quando essa fosse causata da una data quantità di calore largita una volta per sempre. Ma ciò è completamente in contraddizione coi dati di osservazione. Se noi volessimo supporre che l'incandescenza e lo splendore potessero essere conservati ad un'altezza pressochè costante, dalla combustione di una sostanza qualunque, fino all'esaurimento completo di essa, troveremmo, che anche una massa di carbone fossile della grandezza del Sole, non basterebbe a produrre, durante circa 25.000 anni,

il lavoro di questa gigantesca macchina situata al centro del nostro sistema solare. Ora, senza alcun dubbio, il Sole ci impartisce i suoi benefizi, senza indebolirsi, da un tempo enormemente più lungo.

Deve quindi esistere un compenso alla perdita. Dove possiamo noi cercarlo? Newton, che si era già occupato di questa questione, credeva che il fuoco del Sole fosse di continuo avvivato dalla caduta di comete su di esso. Nel Capitolo sulle comete, abbiamo già visto che in realtà una fine cosifatta di un astro dalla coda sul focolare centrale, può non essere un avvenimento raro, sebbene noi non abbiamo mai avuto occasione di osservarlo. Ma contemporaneamente avvertimmo che le comete hanno masse troppo esigue in confronto di quelle che sarebbero necessarie a supplire alla perdita calcolata del calore solare, anche quando tutte le comete che compaiono si precipitassero sul Sole e fossero costituite dalle più combustibili fra tutte le materie. Più tardi, Roberto Mayer, il fondatore della legge della conservazione della forza, ha modificato questa opinione di Newton, nel senso che egli non riguarda più quel rifornimento di calore come prodotto dalla combustione dei corpi caduti, ma bensì dal calore sviluppato dalla energia del cozzo. Abbiamo infatti già veduto quali enormi velocità prendono le comete nelle vicinanze del Sole. Ora, se questa energia di moto viene distrutta dal penetrare delle masse cometiche nel globo solare, deve manifestarsi in suo luogo un'altra forza; gli atomi del corpo solare, già indeboliti nelle loro vibrazioni calorifiche, s'agitano di nuovo più potentemente ed irradiano di nuovo più luce e calore.

Questa sorgente di compenso deve realmente essere riguardata come molto più abbondante del processo di combustione, da che con essa si possono far concorrere anche i numerosissimi meteoriti, che necessariamente devono precipitarsi nell'atmosfera del Sole, come fanno nella nostra, ma colà con un'energia 28 volte maggiore. Certo con questo mezzo viene rifornita al Sole una parte non trascurabile della sua energia, ma certo esso non ne è la fonte principale. Si fu ancora il teorico, il calcolatore, che sollevò delle obbiezioni: e dimostrò che in questa supposizione la grandezza del Sole doveva aumentare di troppo. Ed anche se ciò non potesse subito venir avvertito nel diametro del Sole, lo sarebbe tuttavia nei suoi effetti attrattivi, per mezzo dei quali regge tutto il sistema, e che vengono continuamente misurati con tutta esattezza. Ora la forza d'attrazione di ogni corpo è proporzionale alla sua massa, quindi se quella del Sole aumenta notevolmente come deve necessariamente avvenire, se la caduta di meteoriti deve coprire la perdita del calore solare, tutti i pianeti devono muoversi più rapidamente intorno al centro del sistema, e precisamente di quantità che giaciono entro i limiti di capacità delle nostre osservazioni. Noi dobbiamo pertanto cercare un altro compenso: e questo fu trovato dal genio di Helmholtz nel globo stesso del Sole.

La pressione delle masse sovrastanti, il lento restringimento del gigantesco globo solare, si presentano come una sorgente di calore straordinariamente copiosa. Noi possiamo anche riconoscerne ben chiaramente l'effetto sulla nostra Terra. Il maggior calore che noi constatiamo nei pozzi delle miniere, quanto più profondamente noi penetriamo nella crosta del nostro pianeta, non è altro che l'effetto della pressione, non già, come altra volta si credette, conseguenza della maggior vicinanza al fuoco centrale del nucleo terrestre: Noi infatti troviamo un eguale aumento della temperatura delle roccie quando noi ci addentriamo orizzontalmente

nei monti: nello scavare la galleria del Gottardo si potè determinare l'altezza degli strati di roccia sovrastanti, al punto in cui si stava, abbastanza esattamente, dalla temperatura delle roccie, la quale salì ad oltre 30 gradi. Helmholtz dimostrò che una massa d'acqua avente le dimensioni del Sole, sotto l'influenza della propria gravità, col solo diminuire di una 10.000^{ma} parte della sua grandezza, può elevare la sua temperatura di 2860 gradi, il che coprirebbe per un intero migliaio d'anni la perdita del Sole in calore. Un tale accorciamento di diametro di 0″,3 in mille anni sfugge intieramente alla nostra osservazione, corrisponde quindi al fatto che per noi il Sole possiede un diametro che fino ad oggi risulta invariabile anche alle più esatte osservazioni. La supposizione di una sfera d'acqua per questo calcolo, secondo tutto quanto noi conosciamo intorno al Sole, non è altro che un limite inferiore, cosicchè in realtà probabilmente basta un restringimento del Sole molto inferiore per mantenere la sua temperatura presente ancora per un tempo incommensurabilmente lungo.

L'invariabilità della temperatura solare, almeno entro i limiti a noi accessibili, presuppone un'azione mutua, una connessione fra l'irradiazione ed il restringimento. Ritter, in Annover, dimostrò che in queste supposizioni deve realmente verificarsi una certa pulsazione dell'attività solare, cosicchè ad un periodo di restringimento, cioè di aumentato calore, deve seguire una reazione, nella quale il calore emesso supera quello prodotto. Con ciò poi sono collegati movimenti della materia dall'esterno verso l'interno, e viceversa. Questa pulsazione dovrebbe palesarsi nel periodo undecennale delle macchie solari ed anche spiegare quei fenomeni di correnti, dei quali tenemmo discorso a pag. 309. Tutti gli altri tentativi per spiegare le macchie solari fallirono, ed anche in modo speciale la dimostrazione della connessione loro colle durate delle rivoluzioni dei pianeti, che colle loro attrazioni si vorrebbe producessero quelle perturbazioni nell'atmosfera solare.

Riassumiamo ancora una volta brevissimamente quanto di sicuro o di molto probabile noi sappiamo intorno al Sole. Il Sole è, forse ad eccezione di un nocciolo relativamente piccolo, un globo gasoso, che si estende nello spazio con densità decrescenti con sufficiente regolarità. I gas sono per la massima parte di natura metallica, e la loro costituzione chimica non è essenzialmente diversa da quella delle sostanze che costituiscono la nostra Terra. Il naturale processo di raffreddamento trova un conguaglio nella caduta della materia solare verso il centro. Nel globo solare si verificano delle circolazioni più o meno regolari, le quali in modo simile a quello che noi osserviamo nella nostra atmosfera terrestre, producono, sia per via chimica (Brester) sia per via fisica (Faye, Scheiner), le manifestazioni vorticose delle macchie solari e dei fenomeni che vi sono connessi, quali condensazioni, formazioni di nubi, ecc.

Forniti di queste non di soverchio estese cognizioni sul nostro corpo centrale, dobbiamo ora incominciare le nostre pellegrinazioni nell'immenso regno fuori del Sole e del nostro mondo planetario.

B. IL MONDO DELLE STELLE FISSE

14. — Generalità.

Tra la folla di astri che popolano il firmamento, ci siamo finora occupati solo di quelli che per il loro splendore o la loro mobilità si mostravano particolarmente notevoli. La schiera però dei piccoli pianeti, e le effimere comete e le meteore, dovettero essere studiate complessivamente, giacchè solo poche fra le meteore più singolari e le apparizioni più grandiose si prestavano ad uno studio separato e speciale. Se ora ci rivolgiamo all'infinito stuolo delle stelle fisse, che si noverano a millioni, noi dobbiamo attenerci quasi esclusivamente all'ultimo metodo, e quindi cercare subito un sistema per orientarci all'ingrosso nell'immane dominio. Come ci possiamo noi qui ritrovare? Come designamo noi le stelle, per distinguerle le une dalle altre?

Noi vedremo ben presto, che nello stato odierno delle nostre cognizioni, le stelle più lucide non sono per nulla le più interessanti. Solo la nostra insufficienza ci condusse a tutta prima a questa idea. Ma noi non possiamo trovare le migliaia e migliaia di nomi necessari a designare le stelle che vennero di poi particolarmente esaminate. Pertanto, dopo di aver dato fin dai primissimi principî dei nomi speciali a talune stelle, e dopo di essere riusciti a formare le costellazioni con taluni raggruppamenti di esse più facilmente avvertibili dall'occhio, si dovette ancora provvedere di designazioni proprie le più piccole stelle poste entro a quelle configurazioni. A ciò furono scelte le lettere dell'alfabeto. Ma siccome anche queste ben presto non furono più sufficienti, si dovette ricorrere ai numeri, cui nessun limite è segnato. Tutte le stelle più lucide s'ebbero dai vari popoli degli appellativi, che spesso trapassarono da un popolo ad un altro; così oggi in cielo domina una vera confusione babilonica delle lingue. Predominano nomi bizantini ed arabi, ma se ne dànno pure dei romani e dei greci. Le costellazioni ripetono i loro nomi dalle più differenti circostanze; pare che da principio fossero adattate ai bisogni del contadino, che regolava i suoi lavori dei campi sul riapparire di certe stelle nel loro corso annuo. Per lui una volta il firmamento era il solo calendario regolatore. Più tardi s'aggiunsero motivi di vanità e di ambizione. Ovunque fra le grandi costellazioni, si potè trovare uno spazio occupato da stelle minori non ancora raggruppate, si creò con esse una costellazione nuova, come ad esempio lo scettro di Brandeburgo; a dire il vero, fu conferito con ciò un onore molto dubbio. Tutti i tentativi per ribattezzare le costellazioni note anticamente, fallirono, come quello di dedicare a Napoleone I la meravigliosa costellazione di Orione.

Noi non possiamo soffermarci a descrivere la posizione e la forma delle varie costellazioni. Non s'impara a conoscere il Cielo, se non lo si studia di notte a mezzo di una carta, ma l'arrivare a ciò non è lo scopo del presente lavoro. Per la ricerca

CARTA DEL CIELO STELLATO SETTENTRIONALE

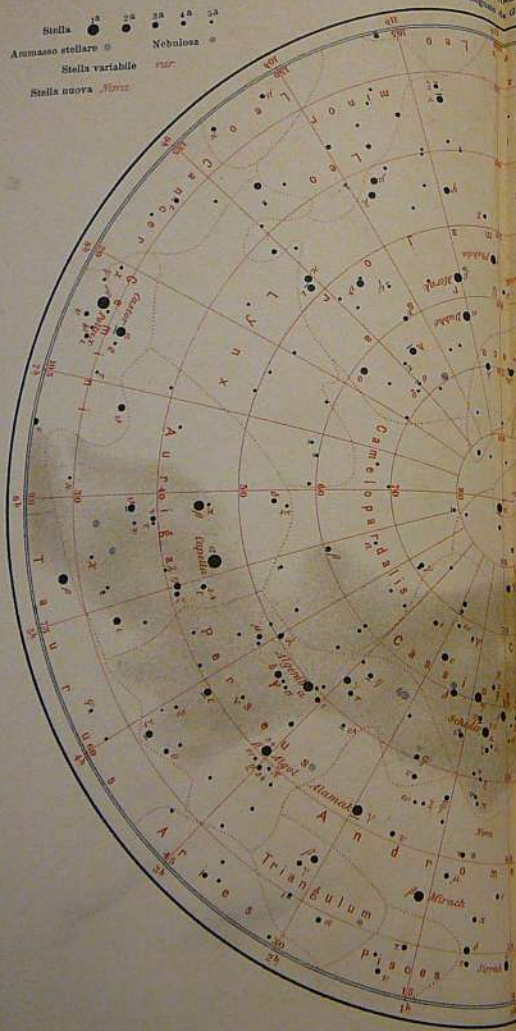
Stella 1^a 2^a 3^a 4^a 5^a

Ammasso stellare

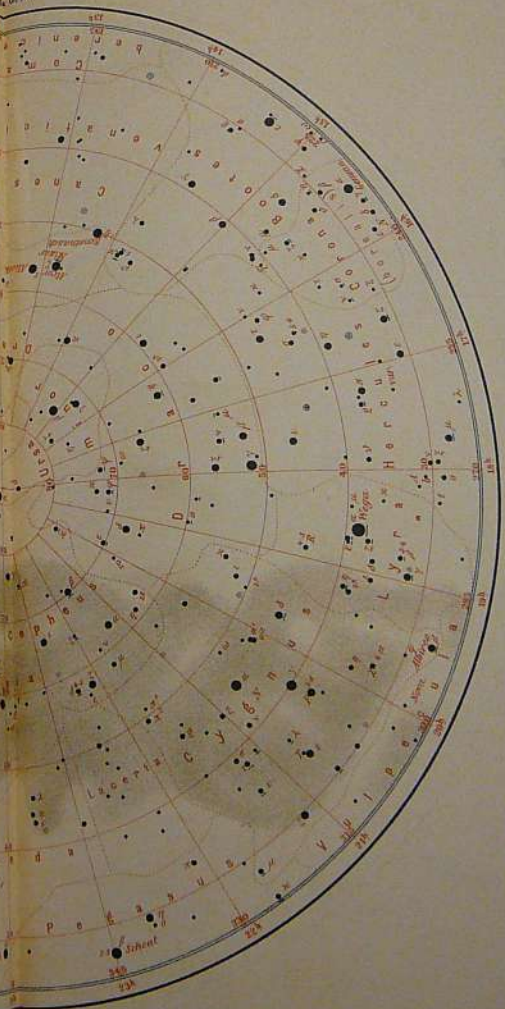
Nebulosa

Stella variabile

Stella nuova



ALE FINO A 25° DI DECLINAZIONE NORD.



...s Institut in Leipzig.

di una data stella, l'astronomo non abbisogna più del faticoso metodo della distinzione in costellazioni. Da che egli, sotto la cupola del suo osservatorio, lavora con istrumenti che possono venir diretti verso un punto determinato, senza dovere neppure volgere lo sguardo al firmamento, egli non ha più bisogno di conoscere le costellazioni. Per il suo scopo l'astronomo da molto tempo si vale del metodo, che a noi serve tanto bene sulla Terra, dell'impiego delle note coordinate, latitudine e longitudine geografica. Il polo e l'equatore terrestri si riflettono in Cielo a mezzo del suo moto di rotazione diurno. Il sistema delle coordinate geografiche si trasporta quasi automaticamente sulla vôlta stellata. Ciò che noi chiamiamo latitudine sulla Terra, si chiama *declinazione* in Cielo. Essa viene precisamente come la latitudine, contata da 0° a 90° partendo dall'equatore celeste e procedendo verso il polo, ed è sull'emisfero Nord affetta dal segno positivo, e per l'emisfero celeste Sud, dal segno negativo. L'altra coordinata, che sulla Terra, quale longitudine geografica, è contata da differenti punti di partenza ad Est e ad Ovest intorno al globo, compare in Cielo come *ascensione retta;* ma colà, dove non possono venir sollevate pretese dalle gelosie nazionali, la si conta in un modo unico, giacchè essa lo è a partire da un punto determinato dell'equatore celeste, la cui posizione si può sempre fissare esattamente, il così detto *equinozio di primavera*, e nel medesimo verso lungo la circonferenza dell'equatore da 0° a 360°.

Questa divisione appare immediatamente dalle qui unite carte celesti, che devono servire in tutti i casi che considereremo ad orientarci sulla posizione degli oggetti dei quali verremo discorrendo. A mezzo dell'ascensione retta e della declinazione, la posizione di una stella è fissata tanto esattamente quanto quella di una città a mezzo della latitudine e della longitudine; e quindi a mezzo di quei dati potremo sempre ritrovare ciascuna stella. Sebbene questo sistema sia molto più pratico di quello delle denominazioni, tuttavia bisogna pur concedere che esso non è caratteristico. Così se si parla di una città posta sotto la latitudine di + 37° 58′ ed alla longitudine orientale da Greenwich di 23° 44′, non tutti sapranno subito che si tratta di Atene. Per contro discorrendo di un luogo affatto sconosciuto, sarà sempre meglio di dare, invece del suo nome, le sue coordinate geografiche. La stessa cosa si pratica per il firmamento: per le grandi stelle, la cui posizione si presuppone nota, si dice il nome, oppure le si designano a mezzo del nome della costellazione cui appartengono e della lettera greca che la contraddistingue fra le componenti di essa, ma da che coll'accrescimento enorme della penetrazione dei nostri mezzi di visione il campo stellato si è di tanto allargato, non giova più darsi la pena di così fatta designazione; le stelle minori vengono contraddistinte unicamente a mezzo della loro ascensione retta e declinazione, od anche a mezzo del numero che esse portano in un dato catalogo stellare.

Il ritrovamento di una stella è poi ancora facilitato dal dato del suo splendore. E con questo tocchiamo già ad un elemento, che ha contemporaneamente un significato fisico, giacchè questo splendore deve essere una conseguenza della reale potenza luminosa o della distanza da noi; quindi quando per una stella sia noto lo splendore, noi potremo da questo ricavare una di quelle due quantità, quando sia nota l'altra. La classificazione delle stelle secondo il grado di splendore, che tecnicamente è denominata *classe di grandezza*, è quindi un importante problema dell'arte di osservare, il quale fu preso in esame, pur troppo,

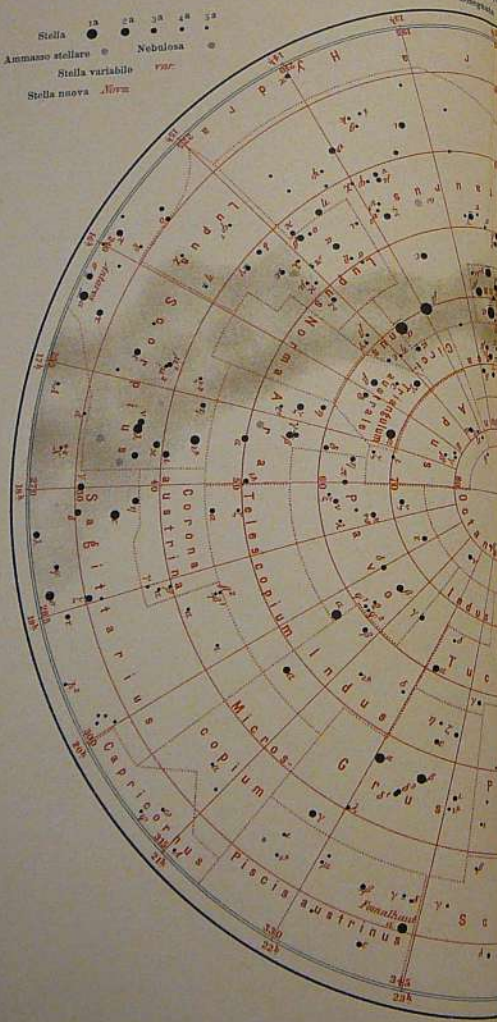
solo nei tempi moderni, da che si fu in possesso di acconci istrumenti per la misura della luce. Fino a quell'epoca, fu d'uopo star contenti a meri estimi nel cannocchiale: nei quali, alcuni astronomi e fra gli altri segnatamente Argelander, acquistarono una sicurezza meravigliosa, come si constatò poi a mezzo di determinazioni comparative eseguite posteriormente col fotometro. Fu poi per generale accordo stabilito, che tutte le stelle visibili ad occhio nudo fossero divise in sei classi di grandezza, e in modo che le più deboli stelle di questo gruppo venissero considerate come appartenenti alla sesta classe, nonchè di distinguere ancora ciascuna classe in classi intermedie, giacchè, ad esempio, si può parlare di stelle tra la terza e la quarta grandezza.

Quadro degli splendori di tutte le stelle di prima e seconda grandezza.

Stelle di prima grandezza	Splendore	Stelle di seconda grandezza	Splendore	Stelle di seconda grandezza	Splendore
Sirius	4,28	β Crucis	0,34	γ Geminorum	0,17
Canopus	2,72	Deneb	0,31	λ Argus	0,16
α Centauri	1,33	α Gruis	0,31	δ Canis majoris	0,16
Wega	1,00	ε Canis majoris	0,31	α Andromedae	0,16
Rigel	1,00	γ Crucis	0,29	ζ Ursae majoris	0,15
Capella	0,82	Pollux	0,29	α Ophiuchi	0,14
Arcturus	0,79	λ Scorpii	0,26	β Leonis	0,14
Procyon	0,70	Castor	0,26	α Ursae majoris	0,14
α Eridani	0,59	γ Orionis	0,26	γ Cassiopejae	0,14
β Centauri	0,53	β Tauri	0,23	α Coronae bor.	0,13
α Crucis	0,52	ζ Orionis	0,22	δ Orionis	0,13
Atair	0,49	β Argus	0,22	α Ursae minoris	0,13
Spica	0,48	γ Argus	0,22	β Ursae majoris	0,12
Fomalhaut	0,34	ε Ursae majoris	0,21	β Ceti	0,11
Regulus	0,33	η Ursae majoris	0,21	α Arietis	0,11
Aldebarau	0,30	ε Argus	0,20	γ Andromedae	0,11
Antares	0,29	ε Orionis	0,19	γ Ursae majoris	0,11
		α Trianguli	0,19	γ Leonis	0,10
		ε Sagittarii	0,19	α Hydrae	0,10
		θ Scorpii	0,18	β Cassiopejae	0,10
		α Pavonis	0,18	β Andromedae	0,10
		β Aurigae	0,18	β Ursae minoris	0,09
		α Persei	0,17	α Pegasi	0,09
		β Gruis	0,17	δ Leonis	0,09
		σ Sagittarii	0,17	β Librae	0,08
		δ Argus	0,17		

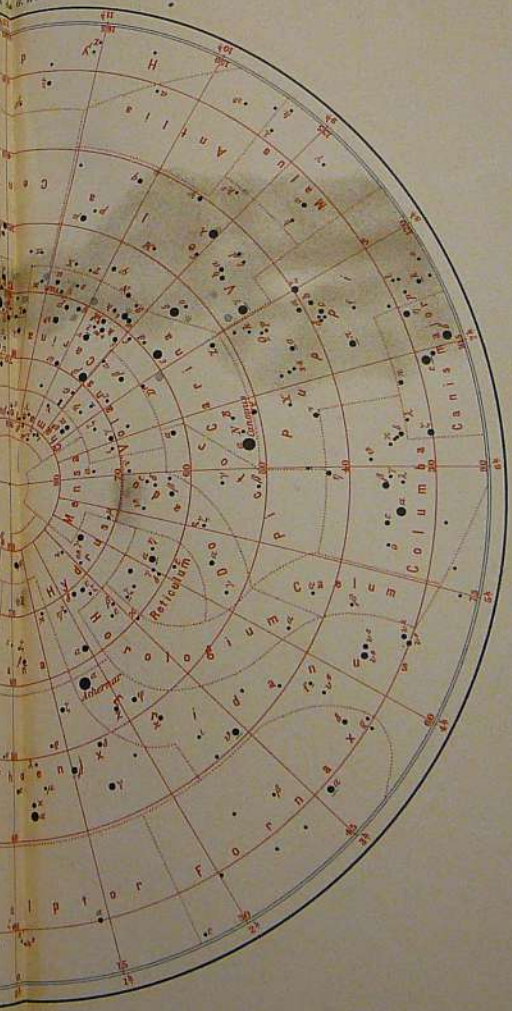
Qui rammentiamo di volo che tutte le stelle fisse, anche nei massimi cannocchiali, appaiono senza diametro, per conseguenza le classi di grandezza nulla dicono intorno alle grandezze apparenti di questi corpi celesti, ma si riferiscono

CARTA DEL CIELO STELLATO MERIDIONALE



Biblioteca

NALE FINO A 25° DI DECLINAZIONE SUD.



...sches Institut in Leipzig.

esclusivamente allo splendore visibile. Ma questa graduazione, nel cannocchiale, va molto più lontano, e così da raggiungere all'incirca la sedicesima grandezza. Naturalmente a questo campo non si possono tracciare confini netti e definiti, giacchè la forza dei cannocchiali cresce continuamente e d'altra parte, in questi ultimi sforzi della capacità visiva, gli apprezzamenti diventano molto incerti.

La classe di grandezza, fino alla quale può arrivare un cannocchiale, dipende, come appare dalle considerazioni svolte nel capitolo sui mezzi astronomici di visione, unicamente dalla grandezza dell'apertura, cioè dall'obiettivo. Si è la sola quantità di luce che perviene all'occhio che decide, poichè qui non ha luogo alcun ingrandimento dell'immagine dell'oggetto. Ora si è trovato che le classi di grandezza si dispongono, per la quantità di luce, ad intervalli di 2,5. Se si volessero rappresentare questi splendori a mezzo di dischi bianchi, bisognerebbe delinearli con diametri diminuenti nel rapporto della radice quadrata di 2,5 per ogni classe di grandezza. Quindi a tenore della convenzione generale, secondo Steinheil si trovano per le prime sei classi i seguenti numeri: 1,00; 0,60; 0,35; 0,21; 0,12; 0,07. Quindi se noi volessimo rappresentare sopra una carta celeste le stelle di quarta grandezza, che sono ancora ben appariscenti all'occhio nudo, con circoletti del diametro di 1 mm., noi dovremmo disegnare quelle di prima grandezza già con un diametro di 5 mm., che le renderebbe esageratamente visibili e larghe, mentre quelle di grandezza inferiore alla quarta sarebbero appena discernibili. Quindi nella costruzione delle carte celesti si deve rinunziare alla riproduzione dei rapporti di splendore.

Nelle classi stesse di grandezza, si trovano naturalmente poi molte gradazioni, e particolarmente nella prima classe si ebbe largo margine a poter scegliere una stella normale. Si prese per questo la stella più lucida dell'emisfero celeste settentrionale, *Vega*, la prima stella della costellazione della Lira, e quindi designata ordinariamente in latino come α *Lyrae*. Nell'emisfero meridionale del Cielo si riscontrano tre stelle che superano Vega in splendore; fra esse la più lucente è Sirius (α *Canis maioris*, in latino), e la sua forza di luce è precisamente quattro volte maggiore di quella di Vega. Le due altre stelle più lucide dell'emisfero celeste meridionale sono *Canopus* ed α *Centauri*, che non sono visibili alle nostre latitudini. Nella tabella a pagina 334 diamo tutte le stelle di prima e seconda grandezza, col loro splendore fotometrico, determinato per talune da Seidel in Monaco e per altre da John Herschel al Capo di Buona Speranza, ed ordinate secondo quelli.

In quell'elenco stanno 17 stelle di prima grandezza e 51 di seconda. Non si troverà in tutti i trattati una perfetta concordanza di questi numeri, e ancora meno per quelli che daremo delle successive classi di grandezza, giacchè nella delimitazione di esse si tratta di una convenzione. Ad ogni modo, noi vediamo che il numero delle stelle aumenta notevolmente, al diminuire della loro forza luminosa. Secondo Houzeau si hanno in Cielo i seguenti numeri per le sei prime classi di grandezza:

1ª grandezza . . .	20 stelle	4ª grandezza . . .	595 stelle
2ª " . . .	51 "	5ª " . . .	1213 "
3ª " . . .	200 "	6ª " . . .	3640 "

In complesso nei due emisferi celesti si hanno 5719 stelle, che possono essere viste ad occhio nudo. A tutta prima l'esiguità di questo numero stupisce, poichè da tutta l'antichità ci è famigliare l'idea dell'innumerabilità delle stelle, che è divenuta proverbiale. In realtà poi un occhio di media bontà, e nelle circostanze atmosferiche ordinarie, vede appena poco più di 2000 stelle, anche perchè i vapori dell'orizzonte estinguono molte delle più deboli. Per contro sulle alte montagne la ricchezza del cielo in mondi lucenti ci appare molto più grandiosa, giacchè colà i raggi che ci giungono dall'infinito debbono percorrere un cammino molto minore nell'aria che tanto assorbe la luce. Müller, astronomo a Potsdam, intraprese da parecchi anni delle determinazioni fotometriche sulla vetta del Säntis, alta 2500 m., e trovò che colassù le stelle appaiono più lucenti che al piano, allo zenit di 0,1 — 0,2 ed all'orizzonte di 0,5 — 0,7 classi di grandezza. Quindi col rapido aumentare della frequenza delle stelle col decrescere della lucidità, segue che a quell'altezza si può vedere ad occhio nudo almeno un numero di stelle doppio di quello che si vede dal fondo di questo oceano aereo, pur troppo così poco trasparente.

Fig. 148. — Piccola carta che mostra la posizione di ζ ed ε ursae majoris, quali appaiono all'occhio nudo.

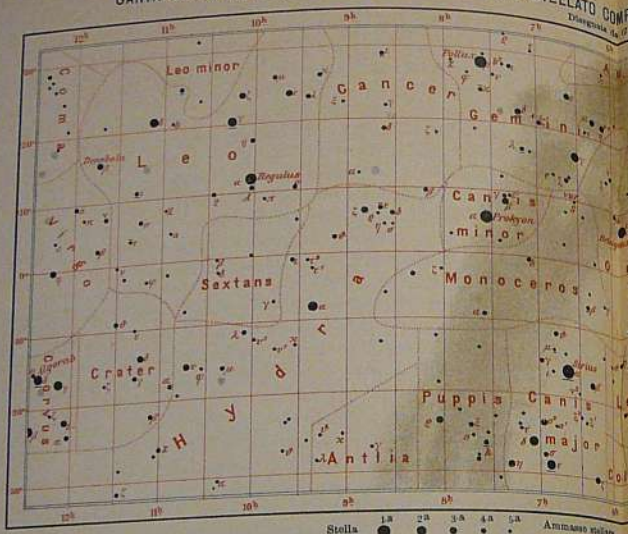
Al di là della sesta grandezza, i dati numerici diventano sempre più incerti, giacchè il cielo meridionale, non è ancora stato passato in rivista con quella cura con cui lo fu la parte del firmamento accessibile dalle nostre latitudini. Per dare un'idea della frequenza delle stelle crescente colla diminuzione di splendore, riportiamo qui, secondo Argelander e solo per le stelle della metà settentrionale del Cielo, il numero delle componenti le varie classi fino alla nona.

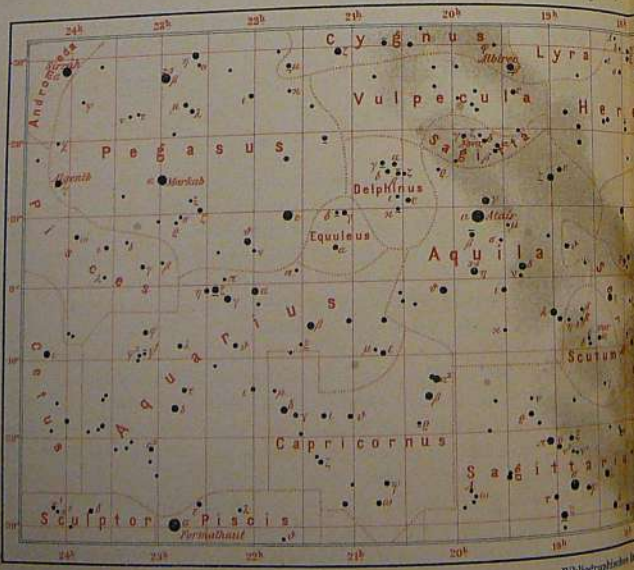
1,0 — 1,9 grandezza	. . 10 stelle	5,0 — 5,9 grandezza	. . 1001 stelle
2,0 — 2,9 »	. . 37 »	6,0 — 6,9 »	. . 4386 »
3,0 — 3,9 »	. . 130 »	7,0 — 7,9 »	. . 13.823 »
4,0 — 4,9 »	. . 312 »	8,0 — 8,9 »	. . 58.095 »

Argelander ha anche fatto un catalogo della massima parte delle stelle fino alla grandezza 9,5; queste però naturalmente non ci sono tutte, e per questo rispetto del numero il catalogo non è completo. Ve ne sono 237.131, non compresevi quelle sopra indicate. In complesso quindi il catalogo degli astronomi di Bonn contiene 314.925 stelle fino alla grandezza 9,5; circa un terzo di millione. Le stelle fino quello splendore sono bene visibili in cannocchiali di 100 mm. di apertura. Secondo i concetti moderni, questi sono cannocchiali molto piccoli. Se ci proponessimo il còmpito di fare un còmputo anche grossolano del numero di tutte le stelle che sono visibili nei giganteschi cannocchiali del giorno d'oggi, le nostre forze non vi basterebbero certamente. Senza rendersi colpevole di un'esagerazione si può ritenere quel numero compreso fra 30 e 50 millioni.

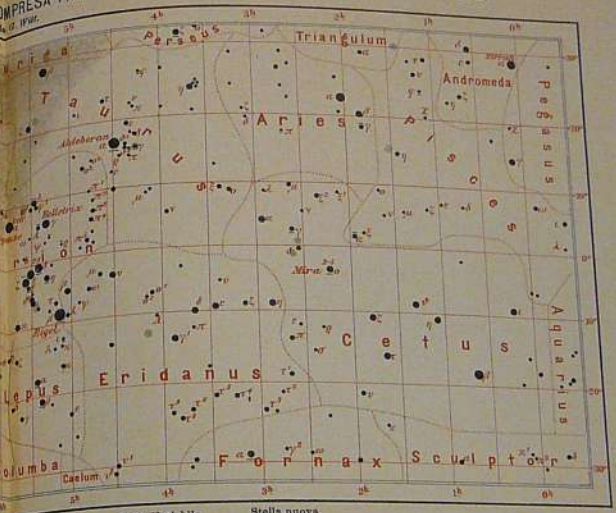
Già da più di 2000 anni gli astronomi si affaticano a fare un catalogo di queste innumerevoli stelle, cioè a fissare la posizione di ogni individuo di quella immensa schiera, quale essa risultò, misurata in un dato istante da un determinato punto del Cielo. Vedremo più tardi come ciò si faccia, cioè come si determini l'ascensione retta e la declinazione, che sono i dati a ciò appunto occorrenti:

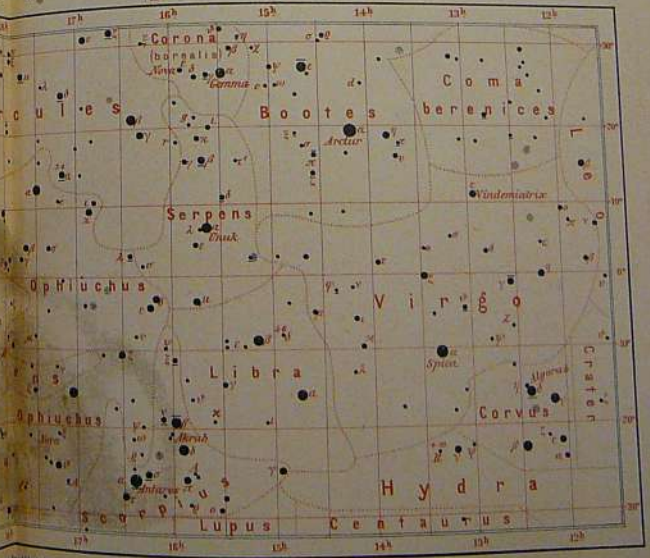
CARTA DELLA ZONA EQUATORIALE DEL FIRMAMENTO STELLATO COM





Bibliographisches


Perseus
Triangulum
Andromeda
Pegasus
Aries
Cetus
Eridanus
Fornax
Sculptor
Aquarius
Lepus
Caelum
Nebulosa
Stella Variabile
Stella nuova


Corona
(borealis)
Coma
berenices
Bootes
Serpens
Ophiuchus
Virgo
Libra
Corvus
Crater
Hydra
Lupus
Centaurus

ma già di leggieri si comprende che il lavoro non può essere nè breve, nè facile. Ipparco fu il primo, che intorno all'anno 150 a. C., intraprese una rassegna sistematica del Cielo, e osservando all'isola di Rodi ed in Alessandria, con semplici istrumenti acconci alla misura di angoli per la misura delle direzioni, fissò la posizione di più di mille stelle. Questo elenco fu poi più tardi pubblicato da Tolomeo nel suo famoso *Almagesto*, e ci permette oggi di ricavare le più importanti conclusioni sui movimenti, che quei corpi celesti, così a torto chiamati stelle fisse, hanno compiuto negli ultimi duemila anni, giacchè, tenuto conto dei mezzi di osservazione così primitivi di quel tempo, ci si presenta come mirabilmente esatto. Dagli Alessandrini la cura ed il gusto dell'astronomia passò agli Arabi: Ulugh-Bey ancora verso la metà del secolo quindicesimo osservava in Samarcanda per una seconda volta tutte le stelle dell'*Almagesto*, e ne dava così un attendibile punto d'appiglio intermedio per le nostre ricerche intorno ai movimenti proprî delle stelle.

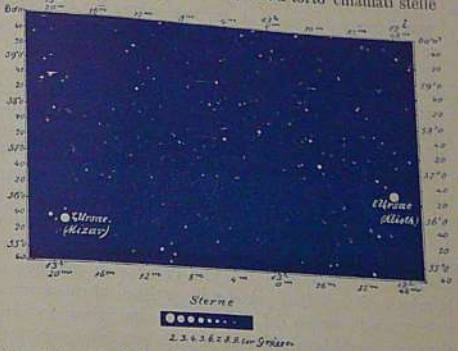


Fig. 149. — Le 120 stelle del Catalogo della Società Astronomica fra ζ e ε *ursae majoris*.

Ma solo dopo l'invenzione del cannocchiale ed il rapido perfezionamento dei metodi di misura astronomici che ne fu la conseguenza, fu possibile di sorpassare il lavoro d'Ipparco per estensione ed esattezza. Noi c'imbattiamo quindi nel diligentissimo Evelio, al quale è dovuto un catalogo di 1564 stelle. A questo tennero dietro cataloghi sempre più ricchi, i quali nelle *Zone* di Bessel e nel gigantesco lavoro di Argelander toccarono il loro culmine, per quanto si tratta di opera di individui isolati. Ma ben presto si constatò, che neppure la più lunga durata dell'esistenza di un solo uomo non poteva bastare a signoreggiare nel dominio sempre più largo delle stelle. Si creò un'associazione internazionale, la Società Astronomica, che si propose per còmpito speciale la compilazione di un esteso catalogo stellare. Il *Catalogo di zone della Società Astronomica*, al quale da parecchie diecine di anni collaborano i principali Osservatori delle Nazioni civili, sarà per tutti i tempi un'opera fondamentale. Per dare un'idea della ricchezza di questo elenco, rappresentiamo sopra una piccola carta la ben nota ma ristrettissima regione celeste fra le due stelle della coda della *grande orsa* ε e ζ: ad occhio nudo non sono visibili che queste due stelle di seconda grandezza; il tratto corrispondente del Catalogo della Società Astronomica, contiene nella regione medesima le 120 stelle segnate sulla carta. Il Catalogo si limita alle stelle di nona

grandezza, quindi neppure altrettanto quanto la *Durchmusterung* (rivista) di Argelander, ma in esso è raggiunta tutta la precisione immaginabile, così che le posizioni sono esatte fino a pochi decimi di minuto secondo d'arco, mentre il grande lavoro di Argelander doveva soltanto servire per un disegno approssimato di una carta celeste in grande scala, colla pubblicazione della quale come Atlante del Cielo stellato, Argelander si è eretto un monumento perenne.

La più completa e più grandiosa carta celeste sarà quella fotografica, la cui compilazione fu assunta da un'associazione di astronomi estesa su tutto il mondo, che lavorano uniformemente a termini di una deliberazione presa da una conferenza all'uopo tenuta in Parigi durante la primavera del 1887. Si dovranno fare di ogni regione celeste preventivamente fissata tre rilievi, ciascuno con differente ma prescritta durata di esposizione. Sulla vera carta celeste si fisseranno solamente stelle fino alla 13ma grandezza, al che si richiede una durata di esposizione di circa un'ora. In previsione di misure di maggiore esattezza da istituirsi sulle lastre, si istituirà un secondo rilievo con durata d'esposizione molto minore, che riprodurrà soltanto le stelle fino all'11ma grandezza. Questi rilievi permetteranno di compilare un catalogo di circa tre millioni di stelle. la cui esattezza, a seconda dell'esperienza fin qui acquistata, non starà molto al di sotto di quella della misura diretta al " Circolo Meridiano ". Oggi già sono pronte migliaia di lastre di questo gigantesco lavoro fotografico, ed in Parigi è in continua operosità un ufficio per la misura di esse. Qui, più che in qualsiasi altro campo dell'attività umana, si conferma nello studio del Cielo il detto che " l'uomo s'innalza colle sue mire più elevate ", giacchè invece di riconoscere la sua impotenza di fronte all'immane grandezza dell'Universo stellato e di lasciarsi abbattere ed abbandonare il lavoro, egli s'eleva a fatti ed opere ognora più degni d'ammirazione.

Però anche ora che è in corso questa rassegna fotografica del Cielo, non si è abbandonata l'osservazione che si eseguisce direttamente coll'occhio, giacchè qualunque possa essere la precisione cui possono giungere le lastre, sopra ogni lastra si dovrà sempre riferire almeno la posizione di una stella, al punto d'origine del còmputo, l'equinozio di primavera, e determinare quella posizione direttamente, per potersi poi servire di essa sulla lastra come punto d'origine delle misure microscopiche. La carta celeste fotografica abbisogna solamente di circa 60.000 di tali stelle fondamentali.

Di più questa carta non consente la misura diretta della grandezza delle stelle, poichè le grandezze fotografiche in causa degli effetti chimici, fra loro così differenti, dei raggi luminosi dei vari colori sono molto diverse da quelle determinate otticamente. La luce delle stelle non è infatti sempre bianca, sebbene tale sembri nella maggior parte dei casi ad uno sguardo superficiale. In realtà si dànno stelle di tutte le gradazioni immaginabili di colore: ve ne sono di rosse come il rubino, del color del granato, vi sono in Cielo dei topazi, degli smeraldi, dei zafliri. Ma le stelle rosse sono decisamente in maggioranza; Schjellerup nel 1866 diede un catalogo di 280 stelle rosse fino alla decima grandezza.

Da quel tempo il loro numero si è ancora notevolmente accresciuto, segnatamente da che s'imprese a studiare il Cielo spettroscopicamente. Il colore delle stelle si pronunzia distintamente, là ove due di esse stanno vicine, nelle così dette stelle doppie, che presto noi impareremo a conoscere più da vicino. Sebbene

la massima parte di esse mostri il medesimo colore, giacchè anche qui il bianco predomina, tuttavia si ha un numero ragguardevole di colorazioni notevoli constatate, così che da principio si congetturarono illusioni ottiche, azioni di contrasto nel nostro occhio, che in realtà poi non avvengono. W. Struve in Pulkowa presso Pietroburgo, che si è tanto occupato di stelle doppie, esaminò per rispetto al colore ben 596 coppie di stelle doppie e trovò che 375 avevano lo stesso colore, 101 simile, per contro 120 possedevano tinte ben diverse. Fra le 375 coppie di egual colore, egli ne contò 295 bianche, 27 bianco-gialle, 35 giallastre, 11 gialle, 2 giallo-dorate e 5 verdi; fra quelle diversamente colorate in modo ben spiccato, ve ne erano 52 coppie delle quali una era gialla, l'altra bleu; ancora in 52 nelle stelle gialle il compagno non era così intensamente colorato, ma però ancora evidentemente tinto in azzurrognolo; in 16 l'una era verde, l'altra bleu. Anche da questa nuda enumerazione già si vede, che le gradazioni di tinta poste verso l'estremo rosso dello spettro predominano decisamente, del che dovremo occuparci anche in altro luogo.

Fra le stelle più lucide, con un po' d'attenzione si notano come colorate in rosso le seguenti: *Arturo*, quella prima stella di Boote che si trova facilmente quando si prolunghi all'indietro la retta che congiunge le ultime due stelle della coda della Grande Orsa; *Aldebaran*, la maggiore stella del Toro; *Polluce*, uno dei Gemelli, *Antares* nello Scorpione e segnatamente *Beteigeuze*, la più lucida stella della splendida costellazione di Orione, la spalla sinistra visibile del Gran Cacciatore; anche α di *Ercole* può essere distinta come stella rossastra. Raggrupperemo con maggior ordine le stelle a seconda del loro colore, quando le esamineremo spettroscopicamente.

Poichè fra le stelle non bianche, le gialle e le rosse sono in maggioranza, e precisamente queste agiscono più lentamente sulla lastra fotografica, perciò la carta celeste fotografica conterrà un gran numero di dati di grandezza che non concordano con quelli acquisiti direttamente. Ora si preferisce di non applicare alcuna regola per passare dalle une alle altre, ma di lasciare sussistere l'una accanto all'altra le due grandezze stellari. Non si sa però ancora quale fra i due strati sensibili della retina e della lastra fotografica rispettivamente, ci dia la rappresentazione più fedele di tutte quelle quantità di luce che a noi giungono da quei mondi raggianti.

Queste luci sono, in mancanza di metodi migliori, il solo mezzo che ci permetta di stabilire qualche conclusione intorno alla distribuzione delle stelle fisse nello spazio cosmico, e alle loro distanze relative. A questo scopo noi dobbiamo ammettere che almeno in media tutte le stelle splendono egualmente, e che solo quando la loro distanza da noi aumenta, ci mandano meno luce. Si avverta però che questa supposizione potrebbe assai facilmente essere errata per una determinata stella, scelta a caso nell'innumerevole schiera, giacchè nel mondo delle stelle si possono riscontrare tanti individui grandi quanto piccoli, ed anche qui, come generalmente, i più piccoli saranno notevolmente più numerosi dei maggiori; ma però non si deve ammettere in precedenza che tutte le maggiori ovvero le minori stelle siano precisamente situate nella nostra vicinanza, ma dobbiamo invece presupporre, che ad ogni profondità, ad ogni distanza da noi, in ogni scompartimento eguale dello spazio cosmico esista un egual numero di stelle della

grandezza medesima. Se pertanto si denomina distanza stellare, la distanza media ignota di una stella di una data classe, ad esempio della prima classe, allora dall'intensità di luce delle altre classi, si può dedurre la distanza media di esse, poichè noi sappiamo che l'intensità della luce diminuisce in ragione del quadrato della distanza. Vedremo più avanti, come da tali considerazioni noi possiamo anche tentare di ricavare delle conclusioni sulla costituzione di quel più ampio mondo, nel quale il nostro Sole, per quanto grandioso ci sia apparso nel precedente capitolo, non è più che un essere evanescente nell'immensità del tutto.

È stato trovato colla misura, che una stella normale di prima grandezza brilla 40.000 millioni di volte più debolmente del Sole. Se noi potessimo ammettere che realmente quella stella possegga lo stesso potere irradiante del nostro astro del giorno, allora la sua distanza da noi dovrebbe corrispondere alla radice quadrata del numero sopra riportato, espresso in unità eguali alla distanza del Sole da noi, il che vale 200.000 distanze solari. Per esprimere questa distanza in chilometri, dobbiamo ancora moltiplicarla per 150 millioni. Poichè inoltre, in un minuto secondo, la luce percorre 300.000 km., così dividendo quel prodotto per questo numero, troveremo che la luce impiega 100.000 millioni di secondi, cioè alquanto più di tre anni, per percorrere quel tratto. Quindi, nelle presupposizioni fatte, già le più lucide fra le stelle, cioè probabilmente anche le più vicine, sarebbero da noi tanto lontane, che la luce che cammina colla velocità del lampo, sta tre anni in viaggio per venire da esse a noi. Vedremo più avanti che questo computo istituito partendo dallo splendore è confermato pienamente da una misura diretta della distanza di alcune stelle fisse che è divenuta possibile.

Si comprende ora anche facilmente come queste stelle non mostrino alcun diametro misurabile in qualche modo. Trasportiamo il nostro Sole, fino ad esserci lontano di una distanza stellare, ed allora il suo diametro apparente raggiungerà appena la centesima parte di un secondo d'arco, un angolo che non possiamo più constatare neppure coi nostri migliori istrumenti. Questa è sempre la prima delle molte disillusioni che prova chiunque guardi per la prima volta, naturalmente con grande aspettazione, in un grosso cannocchiale: le stelle gli sembrano più larghe ad occhio nudo. Prima dell'invenzione del cannocchiale il diametro delle stelle si misurava a minuti; ma già Galilei, col primo ed ancora così incompleto istrumento che rivolse al Cielo, trovò che tutt'al più si poteva loro attribuire un diametro di 5″; oggi si può affermare che in questa dimensione nessuna stella misura più di $0{,}2''$.

Per questo riguardo Stephan in Marsiglia ha di recente applicato praticamente un'antica idea del francese Fizeau, che utilizza in modo molto ingegnoso per la misura eventuale di questi diametri minimi una proprietà del cannocchiale che prima si trovava molto incomoda. Essa è costituita da quei fenomeni di difrazione dei quali già discorremmo nel nostro capitolo su gli istrumenti astronomici, e che sono quelli che producono principalmente i diametri apparenti delle stelle, che permangono anche nei migliori cannocchiali. Noi spiegammo questi fenomeni colla deviazione che i raggi di luce subiscono ai lembi esterni delle lenti o dei diaframmi nell'interno del tubo. Stephan produce questa inflessione artificialmente a mezzo di due aperture a fessura, che egli dispone davanti all'obbiettivo. Si può dimostrare teoricamente che se la sorgente luminosa ha un diametro, la deviazione

prodotta da una fessura, deve essere diversa per grandezza da quella prodotta dall'altra. Ora ciascuna fessura, invece degli anelli di difrazione, come quelli che nella figura 150 sono indicati con *a* e *b*, produce delle striscie come quelle indicate con *c*. Quindi se una striscia chiara di una fessura coincide con quella oscura dell'altra, allora si avrà manifestamente una uniforme illuminazione del campo, nel caso opposto per contro la configurazione a striscie sarà rinforzata. Il verificarsi dell'uno o dell'altro caso dipende, come necessariamente si ritrovò colla teoria, da una parte dal diametro dell'astro dal quale proviene la luce, dall'altra dalla distanza delle fessure, ed in modo ben noto altresì da quella fra esse. Così se ad esempio la distanza delle due fessure è data in millimetri, allora si trova il diametro dell'astro osservato in secondi d'arco dividendo il numero 103 per quei millimetri. Non si deve quindi fare altro che spostare le due fessure l'una rispetto all'altra, fino a che dopo la loro coincidenza, avvenga un' illuminazione uniforme del campo, quindi misurare la distanza delle fessure ed eseguire l'indicata divisione.

Fig. 150. — Fenomeni di difrazione.

Volendo determinare con questo metodo dei diametri molto piccoli, si può suggerire di ingrandire il più che sia possibile questa distanza delle fessure, poichè con ciò il divisore diviene grande, e la frazione risultante per i secondi d'arco, piccola. Ma il massimo di questa distanza dipende dal diametro dell'obbiettivo. Stephan potè col suo cannocchiale spingersi fino al punto da poter misurare un angolo del piccolissimo valore di $0{,}16''$. Ora poichè con nessuna stella esaminata con questo metodo, le striscie scomparvero, per quanto si siano allontanate le fessure l'una dall'altra, fu constatato che esse devono avere un diametro inferiore a questa frazione di un secondo. Con questo metodo, il fisico americano Michelson ha determinato all'Osservatorio Lick il diametro assai piccolo dei satelliti di Giove, ed ottenne una concordanza assai buona coi risultati della misura diretta; però anche a lui le stelle fisse si mostrarono senza diametro.

Una conseguenza dell'essere il diametro delle stelle fisse per noi infinitamente lontani piccolo, è il tremolìo accidentale della loro luce, lo scintillare, per il che questi mondi si distinguono subito ad un primo sguardo dai pianeti, quando la nostra atmosfera non si trovi in uno stato di quiete eccezionale. Specialmente nelle serene notti d'inverno questo tremolìo dà al Cielo stesso un'attrazione indescrivibile, con un rapidc cangiar di tinta delle stelle che passano per tutte le gradazioni di colore dell'arcobaleno. Il fenomeno proviene da ciò che (fino a tanto che si tratta generalmente di stelle bianche) da una stella ancora assai lucente, a noi praticamente giunge sempre soltanto un solo raggio di luce bianca, il quale nell'involucro aereo della nostra atmosfera, di continuo agitata, viene in ogni istante spartito in modo diverso nelle sue tinte componenti, le quali quindi colpiscono singolarmente il nostro occhio. Nei corpi celesti che hanno un'estensione avvertibile, due raggi vicini si completano, e non rimane più che quell'apparenza del lembo, detta *fluttuazione*.

Montigny, che si occupò di proposito dello studio della scintillazione, costrusse un apparecchio, nel quale a mezzo di una rapida rotazione l'immagine della stella viene convertita in un nastro. L'aspetto di questo serviva utilmente a Montigny quale pronostico del tempo, potendosi da esso dedurre, in modo assai semplice, lo stato di movimento degli strati eccelsi ed inaccessibili dell'atmosfera, dal quale essenzialmente dipende il tempo delle prossime 24 ore. Con una vivace scintillazione delle stelle si può infatti quasi sempre congetturare, con grande probabilità, di un cambiamento di tempo.

Se ora le stelle di prima grandezza distano già da noi di tre anni di luce (*a*), quale insondabile abisso deve separarci da quei deboli punticini luminosi che ci sono rivelati solo dalla gigantesca potenza dei nostri magnifici apparecchi di ottica? Nel modo grossolano già applicato poc'anzi, ciò non è difficile a calcolare. Noi vedemmo che ogni classe di grandezza diminuisce rispetto alla precedente di 2,5 volte di luce. Ora poichè l'intensità di luce diminuisce in ragione inversa del quadrato della distanza, così ogni classe di grandezza deve essere più lontana da noi della precedente di $\sqrt{2,5} = 1,6$. Se noi procediamo così innanzi da una grandezza alla successiva, otteniamo per il limite fino al quale può giungere l'occhio nudo, cioè fino alla sesta grandezza, la distanza di circa 10 distanze stellari. Se ammettiamo che ogni distanza stellare sia di *tre anni di luce*, il qual numero deve realmente riguardarsi per le stelle di prima grandezza come un minimo (molti astronomi prendono per esso 15 anni), risulterà allora che la luce proveniente da queste stelle e che cammina colla velocità di 300.000 km. al minuto secondo, viaggiò per ben 30 anni prima di giungere al nostro occhio. Ma per le piccole stelle che sono ancora visibili nei cannocchiali, o che si disegnano sopra una lastra fotografica dopo un'ora di esposizione, quei raggi hanno dovuto viaggiare 3000 anni. È inutile e di nessun compenso alla fatica, il ridurre questa cifra in misure umane, quel numero enorme non gioverebbe per nulla ad allargare il nostro concetto dell'universo.

Ma vi è ancora un altro mezzo di acquistare cognizioni generali sulle distanze medie delle stelle. Esso si basa sulla supposizione che tutte le stelle siano egualmente distanti fra di loro, così che se ad una certa distanza, ad esempio quella delle stelle di prima grandezza, fu constatato esisterne un dato numero, ad una distanza doppia si trovino stelle in maggior numero e precisamente nel rapporto del volume di una sfera di raggio 1, a quello di una sfera di raggio 2, e così via. Ora poichè il volume di una sfera cresce come il cubo del suo raggio, così nelle ipotesi fatte alla distanza 2 si devono trovare $2 \times 2 \times 2 = 8$ volte più stelle che alla distanza 1. In questa guisa dal numero delle stelle si può conchiudere alla loro distanza, e paragonare questa colla quantità di luce che da esse ci giunge. Anche così si giunge a tali formidabili distanze, quali quelle che noi possiamo ancora raggiungere coi nostri cannocchiali giganteschi che tanto penetrano nello spazio. Ci addentre-

(*a*) [Per esprimere le distanze delle stelle con chilometri, occorrerebbero numeri di molte cifre, che nulla rappresentano all'intelletto nostro: si ricorre dunque per quelle distanze enormi a quell'unità di misura che fu chiamata *anno di luce*. Con tale espressione gli astronomi intendono il tratto rettilineo percorso dalla luce in un anno, rammentando che la luce percorre 300.000 km. al minuto secondo. (O. Z. B.)].

remo assai più in queste ricerche intorno alla grandezza ed all'estensione dell'Universo stellato quando ci occuperemo della Via Lattea.

Poichè la distribuzione delle stelle sul firmamento non è punto uniforme, così anche in realtà lo spazio celeste sarà con varia densità popolato di stelle. Vediamo ciò ben chiaramente nelle regioni della Via Lattea, dove le stelle sono tanto dense che all'occhio nudo producono l'impressione di un uniforme albore luminoso. Per contro nello spettroscopio vi si scorge un'innumerevole schiera di piccolissime stelle, che stanno fra loro troppo da presso per poter ancora cagionare sulla nostra retina delle impressioni separate, e per di più anche ogni singola stella delle innumerevoli che costituiscono quella luminosità diffusa è troppo debole per sè per poter ciò ottenere. Si è potuto provare che sono specialmente le stelle di grandezza più piccola che formano la cintura della Via Lattea. La figura 28 a pag. 60 rappresenta una porzione della Via Lattea nella regione del *Cigno*, ottenuta fotograficamente da Wolf in Heidelberg con un'esposizione durata ben 13 ore. Qui tutto lo spazio è cosparso di stelle strettamente addensate. La fotografia contiene ancora le stelle fino alla 13ª e 14ª grandezza. Ma noi constatiamo inoltre sul rilievo che vi si riscontrano estese regioni di carattere nebulare, le quali coi mezzi rinforzati fanno ancora la stessa impressione che una parte della Via Lattea fa all'occhio nudo. Alla sinistra del centro noi avvertiamo in modo speciale la così detta "nebulosa americana„, della quale ci siamo già occupati nel capitolo sulla fotografia celeste. Da principio fu molto difficile il decidere, se non fossero queste masse nebulari che avessero la parte più importante nella formazione della Via Lattea ovvero le stelle stesse; ed anche era a decidersi se non fosse questo avanzo irrisolvibile che bravasse la potenza dei nostri cannocchiali, a quella medesima guisa che una volta facevano le stelle più minute, che oggi però si vedono distinte. Ritorneremo sopra tutte queste questioni, quando avremo meglio acquistato cognizione del campo infinitamente lontano ed esteso, che si presenta così semplice all'occhio dell'osservatore.

Fig. 151. — Le Pleiadi, vedute in cannocchiali di debole ingrandimento.

Ma vicino a questa accumulazione di stelle che si è constatata intorno al Cielo, nella cintura della Via Lattea, si incontrano anche delle condensazioni speciali, dette coacervazioni o gruppi o ammassi stellari, delle quali alcune già si mostrano all'occhio nudo, come le famose Plejadi nella costellazione del Toro, che

sono rappresentate nella figura 151 quali appaiono nei cannocchiali deboli, ed il *Presepio* nel Cancro. Esamineremo più avanti se in questi casi si tratti di gruppi connessi distinti dalla restante folla, o se pure in quelle regioni quegli ammassi che noi vediamo non sian che stelle casualmente avvicinate. In alcuni luoghi i punticini luminosi sono tanto fra loro vicini, che neppure coi mezzi più potenti non si possono più separare; in altri luoghi noi vediamo degli albori luminosi, come nella fotografia già considerata, ma però completamente separati dalla Via Lattea. Alcuni di essi, come la famosa nebulosa di *Orione* e quelle di *Andromeda*, sono visibili anche ad occhio nudo, senza però risolversi in stelle. Nello spettroscopio essi furono, almeno in parte, riconosciuti realmente come masse di gas incandescenti.

Ma nel tentare d'imparare a conoscere i caratteri di questa folla di mondi per formarci da ultimo un'immagine di tutto questo complesso di mondi al quale apparteniamo, dobbiamo procedere dal semplice al molteplice, e quindi occuparci prima di tutto della costituzione fisica delle singole stelle, e poscia di quella dei sistemi di stelle, stelle doppie e stelle multiple, coacervazioni stellari e nebulose, riserbando per ultimo il sistema cosmico della Via Lattea che tutto abbraccia, ed il tratteggiare anche pallidamente le vie lattee fuori della nostra. Con ciò saremo giunti al confine ultimo della nostra conoscenza dell'Universo stellato.

Posizioni medie di alcune stelle per il principio dell'anno 1900.

Designazione	Grandezza	Ascensione retta	Variazione annua	Declinazione	Variazione annua
α Andromedae	2,0	$0^h\ 31^m\ 3{,}0^s$	$+\ 3{,}09^s$	$+28°\ 32'\ 18''$	$+19{,}9''$
β Cassiopejae	2,1	3 50,3	+ 3,17	+58 35 53	+19,9
γ Pegasi	2,6	8 5,1	+ 3,08	+14 37 39	+20,0
α Cassiopejae var.	2,5	34 49,7	+ 3,37	+55 59 20	+19,8
β Ceti	2,0	38 34,2	+ 3,01	− 18 32 9	+19,8
γ Cassiopejae	2,0	50 40,1	+ 3,58	+60 10 29	+19,6
β Andromedae	2,3	1 4 7,9	+ 3,35	+35 5 26	+19,2
θ Ceti	3,0	19 1,5	+ 3,00	− 8 41 57	+18,7
δ Cassiopejae	2,8	19 16,2	+ 3,88	+59 42 57	+18,8
α Ursae min.	2,0	22 33,1	+25,21	+88 46 27	+18,8
ζ Ceti	3,0	46 31,4	+ 2,96	−10 49 45	+17,9
β Arietis	2,8	49 6,8	+ 3,30	+20 19 9	+17,7
γ Andromedae	2,4	57 45,5	+ 3,06	+41 51 0	+17,4
α Arietis	2,0	2 1 32,0	+ 3,37	+22 59 23	+17,2
β Trianguli	3,0	3 35,5	+ 3,56	+34 30 52	+17,2
η Eridani	3,0	51 32,5	+ 2,93	− 9 17 46	+14,5
α Ceti	2,3	57 3,0	+ 3,13	+ 3 41 51	+14,3
γ Persei	3,0	57 33,0	+ 4,32	+53 6 54	+14,3
β Persei var.	2,9	3 1 39,5	+ 3,89	+40 34 14	+14,1
α Persei	2,0	17 10,8	+ 4,26	+49 30 19	+13,1
ε Eridani	3,0	28 13,1	+ 2,82	− 9 47 49	+12,3
δ Eridani	3,0	38 27,4	+ 2,87	−10 6 7	+12,4
η Tauri	3,0	41 32,3	+ 3,56	+23 47 46	+11,4
ζ Persei	3,0	47 50,6	+ 3,76	+31 35 12	+10,9
γ Eridani	3,0	53 21,8	+ 2,80	−13 47 35	+10,4

Designazione	Grandezza	Ascensione retta	Variazione annua	Declinazione	Variazione annua
α Tauri	1	4h 30m 10,9s	+3,44s	+16° 18′ 30″	+ 7,5″
ι Aurigae	3,0	50 28,8	+3,30	+33 0 29	+ 6,0
β Eridani	3,0	5 2 56,0	+2,95	− 5 12 56	+ 4,9
α Aurigae	1	9 18,0	+4,43	+45 53 47	+ 4,0
β Orionis	1	9 43,9	+2,88	− 8 19 2	+ 4,4
γ Orionis	2,0	19 46,0	+3,22	+ 6 15 33	+ 3,5
β Tauri	2,0	19 58,2	+3,79	+28 31 23	+ 3,3
δ Orionis var.	2,4	26 53,8	+3,08	− 0 22 24	+ 2,9
α Leporis	3,0	28 19,1	+2,64	−17 53 38	+ 2,8
ε Orionis	2,0	31 8,3	+3,04	− 1 15 56	+ 2,5
κ Orionis	2,6	43 0,8	+2,84	− 9 42 18	+ 1,5
α Orionis var.	1,2	49 45,4	+3,25	+ 7 23 19	+ 0,9
β Aurigae	2,0	52 11,6	+4,40	+44 56 14	+ 0,7
θ Aurigae	3,0	52 54,1	+4,09	+37 12 20	+ 0,6
μ Geminorum	3,0	6 16 54,7	+3,63	+22 33 54	− 1,8
β Canis maj.	2,6	18 17,7	+2,64	−17 54 23	− 1,6
γ Geminorum	2,3	31 56,1	+3,47	+16 29 5	− 2,8
α Canis maj.	1	40 44,6	+2,64	−16 34 44	− 4,7
ε Canis maj.	1,6	54 41,7	+2,36	−28 50 10	− 4,7
δ Canis maj.	2,0	7 4 19,5	+2,44	−26 14 4	− 5,5
β Canis min.	3,0	21 43,7	+3,26	+ 8 29 27	− 7,0
α Geminorum	2,0	28 13,0	+3,84	+32 6 29	− 7,6
α Canis min.	1	34 4,1	+3,14	+ 5 28 53	− 9,0
β Geminorum	1,3	39 11,9	+3,68	+28 16 4	− 8,4
ι Navis	3,0	8 3 17,1	+2,55	−24 0 58	−10,2
ι Ursae maj.	3,0	52 21,9	+4,13	+48 26 4	−13,9
α Hydrae	2,0	9 22 40,4	+2,95	− 8 13 30	−15,4
θ Ursae maj.	3,0	26 10,3	+4,04	+52 7 59	−16,3
ε Leonis	3,0	40 10,6	+3,41	+24 14 5	−16,4
α Leonis	1,3	10 3 2,8	+3,20	+12 27 22	−17,5
ζ Leonis	3,0	11 7,8	+3,34	+23 54 57	−17,8
μ Ursae maj.	3,0	16 22,4	+3,59	+42 0 9	−18,0
β Ursae maj.	2,3	55 48,6	+3,65	+56 55 7	−19,2
α Ursae maj.	2,0	57 33,6	+3,74	+62 17 27	−19,4
δ Leonis	2,3	11 8 47,5	+3,20	+21 4 18	−19,7
β Leonis	2,0	43 57,5	+3,06	+15 7 52	−20,1
γ Ursae maj.	2,3	48 34,4	+3,18	+54 15 3	−20,0
ε Corvi	3,0	12 4 58,8	+3,08	−22 3 49	−20,0
γ Corvi	2,0	10 39,7	+3,08	−16 59 12	−20,0
δ Corvi	2,3	24 41,4	+3,10	−15 57 32	−20,1
β Corvi	2,3	29 7,9	+3,14	−22 50 38	−19,9
γ Virginis	3	36 35,6	+3,04	− 0 54 4	−19,8
ε Ursae maj.	2,0	49 37,8	+2,65	+56 30 8	−19,6
δ Virginis	3,0	50 33,9	+3,02	+ 3 56 27	−19,6
12 Canum ven.	2,9	51 21,0	+2,81	+38 51 30	−19,5
ε Virginis	2,6	57 11,9	+2,99	+11 29 48	−19,4
ζ Ursae maj.	2,1	13 19 54,0	+2,42	+55 26 51	−18,9
α Virginis	1	19 55,4	+3,15	−10 38 22	−18,9
η Ursae maj.	2,0	43 36,1	+2,37	+49 48 44	−18,1
η Bootis	3,0	49 55,4	+2,86	+18 53 56	−18,1
α Bootis	1	14 11 6,0	+2,73	+19 42 11	−18,8

Designazione	Grandezza	Ascensione retta	Variazione annua	Declinazione	Variazione annua
γ Bootis	2,9	14h 28m 3,1s	+ 2,42s	+ 38° 44′ 44″	− 15,9″
α Librae	2,8	45 20,7	+ 3,31	− 15 37 36	− 15,1
β Ursae min.	2,0	50 59,6	− 0,22	+ 74 33 51	− 14,7
β Bootis	3,0	58 10,7	+ 2,26	+ 40 47 5	− 14,3
δ Bootis	3,0	15 11 28,3	+ 2,42	+ 33 41 16	− 13,6
β Librae	2,0	11 37,5	+ 3,22	− 9 0 51	− 13,5
γ Ursae min.	3,0	20 53,3	− 0,12	+ 72 11 24	− 12,8
ι Draconis	3,0	22 42,2	+ 1,13	+ 59 18 59	− 12,7
α Coronae bor.	2,0	30 27,2	+ 2,54	+ 27 3 4	− 12,3
α Serpentis	2,3	39 20,5	+ 2,95	+ 6 44 24	− 11,5
δ Scorpii	2,3	54 25,1	+ 3,54	− 22 20 15	− 10,5
β Scorpii	2,0	59 37,2	+ 3,48	− 19 31 55	− 10,1
δ Ophiuchi	3,0	16 9 6,2	+ 3,14	− 3 26 13	− 9,5
η Draconis	2,6	22 38,5	+ 0,81	+ 61 44 25	− 8,2
α Scorpii	1,3	23 16,4	+ 3,07	− 26 12 38	− 8,3
β Herculis	2,3	25 55,2	+ 2,58	+ 21 42 26	− 8,0
ζ Ophiuchi	2,6	31 39,1	+ 3,30	− 10 21 53	− 7,5
ζ Herculis	2,6	37 31,0	+ 2,26	+ 31 47 2	− 6,7
η Ophiuchi	2,3	17 4 38,5	+ 3,44	− 15 36 5	− 4,7
ζ Draconis	3,0	8 29,8	+ 0,16	+ 65 50 16	− 4,4
δ Herculis	3,0	10 55,4	+ 2,46	+ 24 57 25	− 4,4
β Draconis	2,8	28 10,4	+ 1,35	+ 52 22 31	− 2,8
α Ophiuchi	2,0	30 17,5	+ 2,78	+ 12 37 58	− 2,8
β Ophiuchi	3,0	38 31,9	+ 2,96	+ 4 36 32	− 1,7
γ Draconis	2,8	54 17,0	+ 1,39	+ 51 30 2	− 0,5
η Serpentis	3,0	18 16 8,0	+ 3,10	− 2 55 29	+ 0,7
α Lyrae	1	33 33,2	+ 2,03	+ 38 41 26	+ 3,2
σ Sagittarii	2,3	49 3,9	+ 3,72	− 26 25 16	+ 4,2
ζ Aquilae	3,0	19 0 48,8	+ 2,75	+ 13 42 53	+ 5,2
δ Draconis	3,0	12 32,0	+ 0,02	+ 67 29 8	+ 6,3
β Cygni	3,0	26 41,3	+ 2,42	+ 27 44 58	+ 7,4
γ Aquilae	3,0	41 30,3	+ 2,83	+ 10 22 10	+ 8,6
δ Cygni	2,8	41 51,0	+ 1,88	+ 44 53 11	+ 8,6
α Aquilae	1,3	45 54,2	+ 2,93	+ 8 36 14	+ 9,3
θ Aquilae	3,0	20 6 8,7	+ 3,09	− 1 7 6	+ 10,5
β Capricorni	3,0	15 23,6	+ 3,37	− 15 5 50	+ 11,2
γ Cygni	2,4	18 38,4	+ 2,15	+ 39 56 12	+ 11,4
α Cygni	1,6	38 1,4	+ 2,01	+ 44 55 22	+ 12,8
ε Cygni	2,6	42 9,9	+ 2,43	+ 33 35 44	+ 13,4
ζ Cygni	3,0	21 8 40,8	+ 2,55	+ 29 48 59	+ 14,6
α Cephei	2,6	16 11,6	+ 1,43	+ 62 9 42	+ 15,2
β Aquarii	3,0	26 17,7	+ 3,16	− 6 0 41	+ 15,7
β Cephei	3,0	27 22,3	+ 0,79	+ 70 7 18	+ 15,8
ε Pegasi	2,3	39 16,5	+ 2,95	+ 9 24 59	+ 16,4
δ Capricorni	3,0	41 31,3	+ 3,32	− 16 34 53	+ 16,2
α Aquarii	3,0	22 0 38,8	+ 3,08	− 0 48 21	+ 17,4
η Pegasi	3,0	38 18,8	+ 2,81	+ 29 41 53	+ 18,8
δ Aquarii	3,0	49 20,6	+ 3,19	− 16 21 10	+ 19,1
α Piscis austr.	1,3	52 7,5	+ 3,32	− 30 9 9	+ 19,0
β Pegasi var.	2,4	58 55,5	+ 2,90	+ 27 32 25	+ 19,5
α Pegasi	2,6	59 46,7	+ 2,98	+ 14 40 2	+ 19,3

15. — La serie spettroscopica delle stelle.

Già da molto tempo è noto che le stelle fisse al pari del Sole, ma a differenza di tutti gli altri corpi fin qui considerati, risplendono esclusivamente di luce propria, e ciò era posto fuori di dubbio anche prima che lo spettroscopio ne fornisse una dimostrazione inoppugnabile. Ora poichè la luce che irradia da quei punti lucenti non è per nulla un'azione riflessa e non può provenire che da una forza insita in ciascuno, quei millioni di stelle che ci circondano, debbono essere altrettanti corpi luminosi di per sè, dei Soli. Si è pertanto molto interessante lo investigare, quanto questi Soli rassomigliano al nostro, e come il nostro mondo, che noi riteniamo così grande, scompaia in più vasto universo di millioni di creazioni analoghe.

Le diverse tinte dei Soli che stanno al di là del nostro mondo planetario, e che ne rivelano differenti condizioni fisiche, dimostrano che essi non possono essere tutti eguali al nostro. Poichè uno splendore proprio deve ascriversi ad uno stato d'incandescenza, così era facile l'arrivare alla congettura che le stelle bianche siano più calde, e che quelle rosse per contro siano molto più raffreddate, e già passate alla condizione del calore rosso. Qui si presentò indicatissima l'applicazione dello spettroscopio, ed esso ha in realtà fatto meraviglie nelle scoperte intorno a questo lontanissimo mondo delle stesse fisse, che la più immaginosa fantasia non avrebbe neppur potuto sognare verso la metà del secolo decimonono.

Subito fu manifesto, che lo spettro della massima parte delle stelle possiede realmente una grande rassomiglianza con quello del Sole: esso è costituito da una fascia colorata continua attraversata per lo più da numerose linee oscure. Ma questa coincidenza non si osserva in tutte, giacchè, come si poteva prevedere, in questa innumerevole schiera di mondi si riscontra la più ricca varietà.

Il più gran numero delle stelle fin qui esaminate spettroscopicamente si può dividere in due classi principali, delle quali la prima e la più numerosa viene detta del tipo di Sirio, dal nome del suo rappresentante più caratteristico, e l'altra pel motivo medesimo del tipo del Sole. Le stelle del tipo di Sirio sono bianche o bianche azzurre, quelle del tipo del Sole un po' giallognole; poichè anche la luce solare nostra è, come è noto, alquanto tinta in giallo. A queste due classi ne va aggiunta una terza, quella delle stelle rosse, la quale, a sua volta, è molto più povera in individui della seconda. Il nostro Sole quindi non è tra le stelle più frequenti, ma neppure tra le più rare del firmamento. Vogel in Potsdam, che in questi ultimi tempi, col concorso di Scheiner, si è quasi esclusivamente dato allo studio degli spettri delle stelle fisse, aggiunse ancora alcune classi comprendenti pochi individui, così che si parla di classi I *a*, I *b*, I *c*; II *a*, II *b*; e III *a* e III *b*. Impareremo ben presto a distinguere queste varie classi l'una dall'altra: fra esse la I *a* comprende le stelle del tipo di Sirio, la II *a* quelle del tipo del Sole. Esaminate attentamente in Potsdam 4051 stelle, si ordinarono come segue nelle varie classi: Classe I *a* 2165 stelle; Classe II *a* 1240, Classe III *a* 288; Classe III *b* 9. Parte dei divari mostrati da queste classi erano in massima già noti a Fraunhofer, che però non potè dedurne ulteriori conseguenze; le sue ricerche al riguardo

furono pubblicate nel 1817. Noi dobbiamo attendere sessant'anni prima d'imbatterci di nuovo, con Secchi, in un osservatore che si sia sistematicamente occupato dell'esame spettroscopico del Cielo stellato, dopochè in quel frattempo venne riconosciuto il significato delle linee di Fraunhofer. Egli pel primo introdusse le notazioni di classe, le quali, come già si disse, furono poi estese da Vogel. Dipoi, oltre i già nominati, s'occuparono di indagini intorno agli spettri delle stelle fisse, D'Arrest, Duner, e segnatamente Pickering in Cambridge (Nord America). Nel capitolo sullo spettroscopio già parlammo della grande impresa di una generale rassegna spettroscopica del Cielo cui da molti anni lavora Pickering col suo grande prisma obiettivo.

Scheiner caratterizza nel modo seguente le tre classi principali colle loro sottodivisioni (vedi anche tavola: *Spettri di vari corpi celesti*, a pag. 73).

Classe I.

Spettri nei quali le linee metalliche appaiono estremamente esili, oppure non si mostrano affatto, e le parti più rifrangibili dello spettro, l'azzurro ed il violetto, si distinguono particolarmente per la loro intensità.

a) Spettri nei quali oltre alle linee metalliche molto deboli, sono visibili le linee dell'idrogeno che si distinguono per la loro larghezza ed intensità (a questa appartiene la massima parte delle stelle bianche, Sirio, Vega).

b) Spettri nei quali alcune linee metalliche o sono appena debolmente accennate, o non si possono ravvisare, e le linee dell'idrogeno mancano (β, γ, δ, ϵ, Orionis);

c) Spettri nei quali compaiono chiare le linee dell'idrogeno, ed oltre a queste è nettamente visibile del pari la linea D_3 (Elio) (finora sono conosciute soltanto β Lyrae e γ Cassiopejae).

Classe II.

Spettri nei quali le linee metalliche compaiono distintamente. Le parti più rifrangibili dello spettro sono molto pallide in confronto della classe precedente; nelle parti meno rifrangibili appaiono talvolta delle deboli bande.

a) Spettri con linee metalliche molto numerose, che specialmente nel giallo e verde si riconoscono facilmente alla loro intensità. In generale le linee dell'idrogeno sono per lo più energicamente pronunziate, ma mai così ragguardevolmente allargate, come quelle della classe I*a*. In alcune stelle però esse sono deboli, ed in queste, nella parte meno rifrangibile dello spettro si notano delle deboli bande costituite da numerose e vicinissime linee (Capella, Arturo, Aldebaran).

b) Spettri, nei quali oltre a linee oscure e bande separate compaiono parecchie linee chiare (*T* Coronae; a questa classe molto probabilmente appartengono la stella osservata da Wolf e Rayet nel Cigno, e la variabile *R* Geminorum; sebbene a cagione della debole luce di queste ultime stelle menzionate siano state osservate delle bande scure separate nel rosso e nel giallo, non si potè però mai congetturare linee oscure).

Classe III.

Spettri in ogni parte dei quali, oltre alle linee oscure, si presentano ancora numerose bande oscure, e le cui parti più rifrangibili sono notevolmente deboli.

a) Nello spettro, oltre alle linee oscure, si notano delle bande oscure, fra queste le più notevoli verso il violetto si mostrano oscure e nettamente definite, verso il rosso pallide e sbiadite (α Herculis, α Orionis, β Pegasi).

b) Spettri nei quali si avvertono fascie oscure molto larghe, il cui aumento d'intensità è opposto a quello della sottodivisione precedente, nei quali quindi le bande che più potentemente si mostrano verso il rosso sono nettamente definite e più oscure, verso il violetto per contro impallidiscono gradatamente (finora di questa specie si conoscono solo stelle deboli).

Occupiamoci prima delle stelle del tipo di Sirio, bianche ed azzurrognole: vediamo subito che esse si differenziano da quelle del tipo solare essenzialmente per le linee dell'idrogeno che si presentano molto più energiche, a spese di quelle metalliche, le quali però non mancano del tutto. Ma in questa classe si dànno tante gradazioni di tale differenza d'intensità, che con una serie di individui si può formare una scala discretamente completa di passaggio tra le stelle veramente del tipo di Sirio e quelle del tipo del Sole.

La nota caratteristica delle stelle del tipo di Sirio è il predominio dell'idrogeno nella loro atmosfera. Quindi volendo istituire un paragone col nostro Sole, dobbiamo immaginare che la cromosfera sia in quelle stelle molto più estesa, e sovrasti alla sottostante atmosfera metallica con strati così densi, che la loro luce ne venga quasi intieramente assorbita. La luminosità dello spettro particolarmente grande dalla parte violetta è una prova del ragguardevole calore di queste stelle, il quale deve essere molto maggiore di quello del nostro Sole e delle stelle gialle ad esso affini. Qui si deve tener presente che questo grado di calore deve essere inteso in intima connessione colla presenza di quelle estese atmosfere; presupposizione, questa, che vedremo sempre più confermata dalle nostre considerazioni ulteriori.

In alcune stelle di questa natura le atmosfere sembrano possedere dimensioni così grandi, che il nucleo che produce lo spettro continuo può dirsi piccolo per rispetto ad esse. Quindi, l'inversione delle linee dell'idrogeno, che noi possiamo osservare soltanto col Sole, quando ci riesce di mantenere la stretta fessura dello spettroscopio esclusivamente sul sottile strato della cromosfera, deve divenire una manifestazione permanente, giacchè a noi giungono più raggi dall'involucro aereo che produce le linee lucide, che dalla porzione dietro la quale ancora sta il nucleo, la cui luce col penetrare nell'atmosfera dovrebbe produrre le linee oscure di Fraunhofer. Questo caso nel quale le linee lucide dell'idrogeno vincono, è molto raro (esso finora non fu osservato in cielo che due volte), ma a favore della spiegazione giusta nel senso dato parla il fatto, che in queste stelle la linea dell'elio D_3 si presenta lucida del pari. Quindi quei congetturati involucri gasosi sono composti in modo affatto simile a quello del nostro Sole, nel quale pure fu per la prima volta scoperto l'elio.

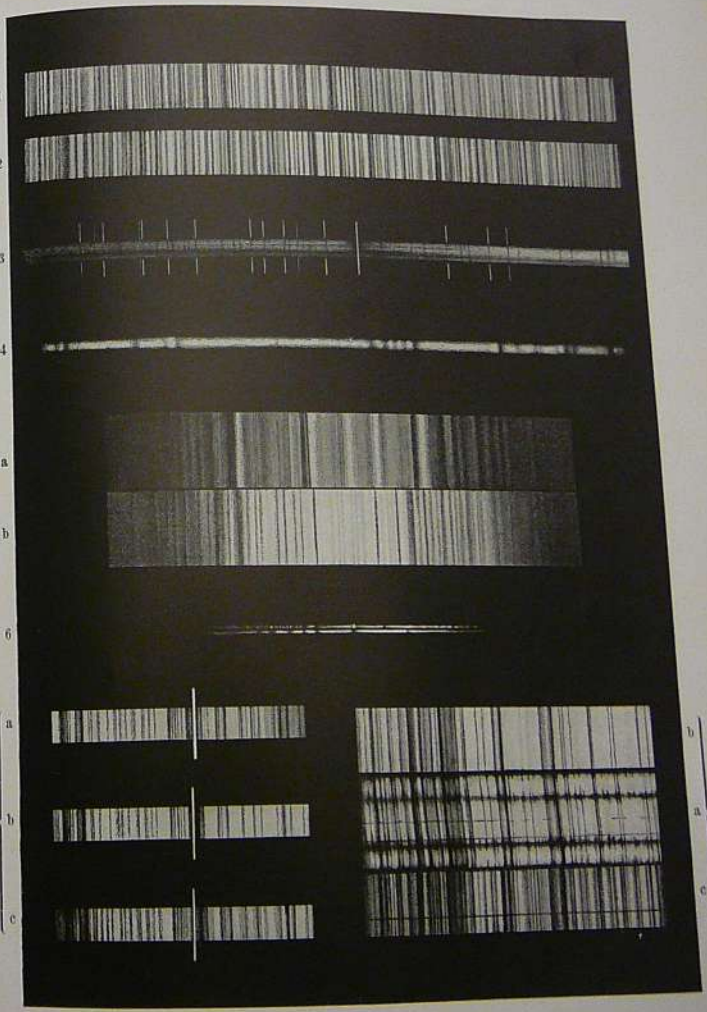
Scheiner annovera fra le ultime ed estreme stelle della classe I*a*, α Leonis, β Librae ed α Ophiuchi, nello spettro delle quali per lunghi tratti non si possono

scorgere altre linee che quelle dell'idrogeno. Sirio stesso ne esibisce di già uno stadio intermedio: le linee metalliche si possono distinguere chiaramente, ma esse si differenziano di molto da quelle del Sole, particolarmente nei loro rapporti di intensità, così che per questa stella e per quelle che le sono più affini, si può conchiudere ad una condizione di calore dell'involucro aereo maggiore di quello che noi riscontriamo sulla stella centrale del nostro sistema.

Non altrimenti che sul Sole, fra le linee metalliche predominano in quasi tutte le stelle quelle del ferro: questo importante metallo ebbe quindi una parte grandissima nella costruzione dei mondi, e per questo rispetto solo l'idrogeno può contrastarne il predominio. Per rispetto all'incertezza che regna tuttora sull'identificazione di altre linee con quelle di sostanze terrestri, della quale già discorremmo trattando del Sole, giova avvertire che non avrebbe grande importanza il congetturare da queste linee all'esistenza di altre sostanze o materiali di costruzione che possono concorrere a comporre i Soli al di là del regno del nostro Sole. Per contro per poter acquistare qualche cognizione sulla loro costituzione fisica generale, dovremo por mente al modo particolare con cui sono raggruppate le linee ed alla loro natura, poichè solo le circostanze e condizioni generali, che ci saranno rivelate, ci interessano adesso.

Già dicemmo come questo aspetto generale dello spettro ci dia notizia di una serie di stelle che formano come un passaggio dalla prima alla seconda classe. Secondo Scheiner, al limite sta la prima stella dell'Aquila (Atair), il cui spettro si presenta come quello del Sole, quando si faccia che le sue linee chiare si dilatino l'una nell'altra in bande. Il raggruppamento sembra essere quasi identico, vale a dire le sostanze medesime in generale si trovano qui in rapporti di mescolanza simili a quelli del Sole, solo le loro condizioni fisiche sono diverse: la pressione e la temperatura sono differenti, probabilmente più elevate.

Alcune stelle formano una variante particolarissima: nel loro spettro mancano le linee dell'idrogeno, in vece loro si presenta una linea presso 447,14 μμ, che non fu potuta identificare con quella di nessuna sostanza terrestre. Sembra quindi che una sostanza a noi sconosciuta abbia colassù preso il posto dell'idrogeno, oppure lo ha fortemente ricacciato indietro, giacchè secondo osservazioni recentissime la mancanza delle linee dell'idrogeno è prodotta solo apparentemente da un loro grande allargamento. Le linee metalliche mancano quasi intieramente in questo tipo *Ia*. Il miglior modo di spiegare il carattere spettroscopico di queste stelle è di supporle provvedute di atmosfere molto estese e relativamente fredde. È interessante avvertire che quella sostanza sconosciuta si trova esclusivamente in un ristretto gruppo di stelle in Orione e nella stella variabile Algol, della quale dovremo occuparci più tardi. La stessa linea è presente anche nello spettro della nebulosa di Orione, ove appare molto lucida; perciò essa è chiamata anche la linea di Orione. In una limitata regione dello spazio cosmico, nella quale come vedremo, si trova tutto un complesso di mondi che sono ancora presentemente in formazione, sembra avere una parte importante una sostanza particolare, che altrove non fu adoperata che una volta. Qui abbiamo innanzi a noi un'eccezione alla regola generale dell'uniformità delle sostanze che hanno formato il mondo, che però si rinserra in uno spazio relativamente piccolo.



SPETTRI DI STELLE FISSE

Specialmente sulla base di rilievi fotografici dell'Osservatorio astrofisico di Potsdam.

Passando ora alla seconda classe spettrale, vediamo, non senza meraviglia, la completa rassomiglianza che un'intiera serie di mondi lontanissimi da noi mostra col nostro Sole per la costituzione nonchè per le condizioni fisiche. Il rappresentante per eccellenza di questo gruppo è la bella Capella, la prima stella dell'Auriga, che nelle notti d'estate percorre lentamente l'orizzonte settentrionale, senza mai tramontare alle nostre latitudini. Scheiner misurò 290 linee nello spettro di questa stella, le quali, senza eccezione di sorta, tanto per la posizione quanto per i rapporti d'intensità coincidono colle linee dello spettro solare. Le misure istituite con grande esattezza dànno solo in alcuni casi una differenza nella seconda cifra decimale del millionesimo di millimetro; moltissime linee coincidono fino alla terza decimale, vale a dire fino all'estremo limite dell'esattezza raggiungibile anche col Sole. Capella è quindi una copia del nostro Sole perfettamente rassomigliante e concordante: essa deve essere composta delle medesime sostanze, andar soggetta alle medesime leggi fisiche, e deve attendere il destino medesimo dell'astro dal quale noi ripetiamo sulla Terra ogni male ed ogni bene.

Anche altre stelle posseggono un carattere spettrale concordante pienamente con quello di Capella e del nostro Sole. Nella qui unita tavola: *Spettri di stelle fisse*, abbiamo riprodotto immediatamente sotto lo spettro di Capella quello di Arturo (α Bootis), entrambi ottenuti in Potsdam. La coincidenza è così grande, che essi potrebbero, per talune copie stampate con diversa intensità, venir ritenuti come un medesimo rilievo.

Anche le altre stelle, assai numerose, di questa classe II*a* conservano all'ingrosso questo carattere di linee, ma, segnatamente nel violetto, presentano sempre più frequenti delle fascie (*a*) che si vanno facendo ognor più oscure. Le stelle medesime invece di una tinta gialla ne vanno assumendo una rossiccia, fino a raggiungere le stelle propriamente rosse della classe terza. Quelle fascie sono prodotte dal fondersi e compenetrarsi vicendevole di un numero di linee d'assorbimento formanti gruppi, non appena queste si vadano allargando. Questo allargamento è una conseguenza di differenze crescenti di temperatura fra il nucleo lucente e l'involucro assorbente. Se esistesse unicamente questo nucleo e fosse luminoso di per sè, esso produrrebbe delle linee lucide: ma quanto più esso è inetto a ciò fare, cioè quanto più diviene freddo, tanto meno possono, i raggi che nel suo interno stesso si producono, opporsi all'assorbimento, e tanto più marcate devono quindi apparire le linee oscure. Pertanto anche astraendo dalla colorazione generale, il carattere delle linee prova qui, che la temperatura delle atmosfere delle stelle diminuisce regolarmente dal primo al terzo tipo.

Ma in questo spettro delle stelle rosse si produce ancora un'altra manifestazione veramente notevole: quella cioè di bande che si vanno gradatamente perdendo verso un'estremità dello spettro, mentre verso l'altra si mostrano per contro nettamente delineate. Tali bande sono generate, come già ebbimo occasione di accennare trattando del Sole, da combinazioni chimiche, e sono specialmente caratteristiche degli ossidi. Sul Sole le riscontrammo nelle macchie, ed anche là le vedemmo quali indizi di prodotti di condensazione, conseguenza di processi di

(a) [Il Padre Secchi parla di queste apparenze chiamandole *zone*, *zone a colonne*. (O. Z. B.)]

raffreddamento. Sembra che anche nelle stelle rosse di questa terza classe, dominino sulla superficie estese regioni di macchie. Questa congettura è appoggiata dal modo speciale col quale molti di questi Soli cambiano la loro luminosità in periodi più o meno regolari: quasi tutte quelle stelle che sono chiamate variabili appartengono a questa classe spettrale (vedi Capitolo I, 20). In realtà poi anche il nostro Sole è una stella variabile, il cui periodo, nelle epoche nelle quali un largo gruppo di macchie attraversa la sua superficie, è uguale alla durata della rotazione del Sole intorno al suo asse polare, mentre è poi anche avvertibile un periodo undecennale, durante il quale quello più breve cresce o diminuisce d'intensità. Ma queste oscillazioni non si possono più constatare alla distanza delle stelle fisse. Da quanto precede, dobbiamo pertanto conchiudere, che nell'evoluzione dei corpi celesti esiste uno stadio, nel quale la formazione delle macchie si estende sempre più, finchè avviene un'oscurazione completa. Pertanto nell'universo stellato, accanto alle stelle visibili ne esisteranno di quelle oscure ed invisibili; in alcuni casi se ne scoprirono indizi.

In alcune poche stelle non molto lucide, che formano la classe III *b*, si riscontrò non solo il carattere spettrale generico delle combinazioni chimiche, ma quello altresì di una affatto fra esse determinata, quella cioè delle sostanze idrocarburate, le quali anche altrove nell'universo, specialmente nelle comete, hanno una parte importantissima. Sembra che queste stelle costituiscano l'ultimo stadio di evoluzione, cui noi possiamo spettroscopicamente tener dietro.

L'ordinamento spettroscopico delle stelle, che noi abbiamo solo di volo considerato rimandando l'esposizione dei risultati speciali alle trattazioni seguenti, ha destato irresistibilmente in noi il pensiero di una evoluzione degli astri. Questo concetto è nuovo, in quanto venimmo fin qui esponendo, giacchè noi ci eravamo primamente proposto come còmpito esclusivo di descrivere i corpi celesti quali sono, rimandando a più tardi il dare una esposizione più completa della connessione dello sviluppo del tutto, secondo le singole leggi che avremmo riscontrato nel venir raccogliendo le cognizioni tutte a ciò necessarie. Ma se noi vogliamo che il nostro spirito non divaghi di soverchio fuori della materia, dobbiamo mandare innanzi almeno come ipotesi questo grande pensiero dell'evoluzione, per vedere come ad esso si connettano altri fatti che verremo raccogliendo. Noi ammettiamo quindi che i corpi celesti siano i prodotti di una graduale condensazione di materia originariamente gaseiforme, che a causa dell'inevitabile e progrediente raffreddamento passa per lo stato liquido, per divenire da ultimo solida. Poichè non è possibile alcun dubbio sul predominio del freddo nello spazio celeste, così la tendenza generale delle stelle ad una evoluzione concomitante al raffreddamento è una necessità fisica: raffreddamento che può ricevere un compenso od anche in taluni casi venir convertito in aumento di calore per qualche tempo, soltanto a mezzo del lavoro di condensazione che ancora oggi noi constatiamo verificarsi sul Sole. Se noi facciamo per un momento astrazione dalle stelle del tipo II *b*, nello spettro delle quali appaiano bensì linee chiare, ma ripetenti la loro origine da circostanze passeggiere, vediamo in realtà, che solo nelle stelle con uno spettro molto lucido nel violetto, che ci rivela il loro elevatissimo grado di calore, si presentano linee chiare, come indizio di estese atmosfere. L'atmosfera di idrocarburi predomina qui ancora pienamente nel carattere complessivo

del corpo celeste. Dopo essersi alquanto raffreddato, questo giunge allo stadio di stella gialla, nel quale si trova il nostro Sole, che è appunto nello stadio medio della sua evoluzione. Le atmosfere si son già fatte più ristrette e fredde, gli invo-lucri di vapori metallici si presentano ognor più alla superficie. I prodotti del raffreddamento, che nel caso del nostro astro centrale sono denominati macchie solari, oscurano in misura crescente la superficie dell'astro che si tinge sempre più in rosso; si precipitano delle combinazioni chimiche e col tempo il tutto si con-verte in liquido con scorie su questo: il corpo cessa di risplendere, esso è uscito dalla condizione di Sole, e per quanto concerne il suo stato fisico è entrato in quello di pianeta.

Se ora vogliamo ordinare la nostra grandiosa materia, dal punto di vista del-l'evoluzione, e tutta assieme collegarla con un filo spirituale, allora ne è forza abbandonare ancora le stelle fisse, e rivolgerci a quei corpi celesti che constano soltanto di un'atmosfera senza alcun nucleo lucente, e che pertanto mostrano uni-camente linee lucide nello spettro. Queste, che sono dette nebulose, secondo l'opi-nione che abbiamo adottata, attestano manifestamente di un più primitivo stadio del processo di condensazione e di raffreddamento.

16. — Le Nebulose e le coacervazioni di stelle.

Fra tutti i corpi celesti le nebulose sono i più estesi e di forme più svariate. Alcune fra esse sono così grosse e chiare, che possono venir avvertite ad occhio nudo; altre, sebbene anche molto estese, finora non manifestarono la loro esistenza che alla lastra fotografica; altre invece sono così piccole, che mantengono pur sempre l'aspetto di stelle fisse prive di diametro, e soltanto nello spettroscopio rivelano la loro natura esclusivamente gasosa. Il telescopio che s'addentra nello spazio, s'imbatte in forme caoticamente lacerate; mentre altre nebulose hanno forme così esattamente rotonde ed uniformemente illuminate, che le si potrebbe scambiare con dischi planetari. Ci troviamo davanti ad una varietà di particolari da spiegare, che ci lascia di nuovo perplessi sul dove noi dobbiamo incominciare. Soltanto il nostro concetto di evoluzione può additarci per qual via avviarci, giacchè noi ammettiamo senz'altro, che come accade sulla Terra, così anche in Cielo tutto procede per ordine, e quindi le conformazioni senza ordine rappre-sentano il più antico stadio dello sviluppo.

Tutte le nebulose propriamente dette hanno comune un loro carattere spet-troscopico: esse mostrano unicamente alcune linee lucide, per lo più nettamente limitate, e separate l'una dall'altra da intervalli oscuri (vedi la tavola spettrale a pag. 73). Per contro quelle forme numerose e dall'aspetto nebulare, che mo-strano uno spettro continuo, spesso però attraversato da linee oscure, si spie-gano come mondi stellari molto lontani, nei quali non possiamo più discernere separatamente i vari Soli; ritorneremo su questi ammassi o coacervazioni stel-lari detti irresolubili. A vero dire una tale distinzione non si potè istituire che ora sono pochi anni, quando si ebbero estesi cataloghi di nebulose, nei quali

naturalmente sono registrate alla rinfusa le nebulose vere assieme a quelle apparenti. In questi cataloghi sono inscritte anche le coacervazioni stellari accertate. Questo non avrebbe però dovuto accadere, giacchè seguendo l'esercizio del vecchio Herschel, al cui infaticabile zelo d'indagine dobbiamo il primo catalogo, correva l'opinione che tutte le nebulose in realtà fossero coacervazioni stellari così remote da rimanere inseparabili anche nei più forti cannocchiali, per la stessa ragione per la quale la nostra Via Lattea si presenta all'occhio nudo come un albore luminoso unito. Però, come già vedemmo, quando sulla base delle ricerche spettroscopiche quella opinione fu chiarita come definitivamente errata, si ritrovarono talune forme, che anche colla decomposizione della luce rivelarono un carattere di transizione, quello cioè di essere molto distintamente ad un tempo vere nebulose ed ammassi stellari. In breve, la varietà di questi interessantissimi fra tutti gli oggetti celesti, fuori dell'isola cosmica del nostro mondo solare, è tale, che vi si possono ritrovare delle forme di transizione a tutti gli altri corpi ed i cui confini, quindi, non è possibile tracciare.

Il numero delle nebulose e delle coacervazioni stellari, contenute nei cataloghi ed in altre pubblicazioni, è andato rapidamente ingrandendosi col crescere della potenza dei nostri moderni giganteschi cannocchiali, giacchè con questi oggetti diffusi e di debole luce, la grandezza dell'apertura dell'istrumento che riceve la luce è di capitale importanza. Nella maggior parte dei casi, per riconoscere le desiderate particolarità, non è necessario un ingrandimento dell'immagine dell'oggetto, ma si richiede solamente un rafforzamento di chiarezza. Quindi, in massima, le nebulose mostrano in maggior copia particolari meravigliosi, nei massimi cannocchiali, ma ad un tempo coi minimi ingrandimenti possibili (Vedi anche pag. 23 nel capitolo sugli istrumenti di visione dell'astronomo). Tutto l'esteso campo di ricerca intorno alle nebulose, che ci consente di più profondamente penetrare nei misteri della storia dello sviluppo dell'universo, potè quindi cominciare soltanto colla costruzione del primo grande cannocchiale di forte potere illuminante, cioè col gigantesco cannocchiale di William Herschel (V. figura 7). Prima di lui si conoscevano solo circa 100 di questi oggetti, che il francese Messier, cercatore di comete, trovò quasi come risultato residuo della sua attività. Prima dell'invenzione del cannocchiale si conoscevano in tutto il firmamento dei due emisferi solo undici di questi oggetti, mentre l'indice di Herschel il vecchio contiene circa 2500 numeri, e quello pubblicato nel 1864 da suo figlio John Herschel, comprendente pure il risultato dell'ispezione dell'emisfero Sud, registra ben 5079 nebulose e coacervazioni stellari. Di poi tal numero fu di molto accresciuto, specie per opera dei grandi cannocchiali americani. Il recente catalogo di nebulose di Dreyer contiene già 7840 numeri.

Herschel il vecchio aveva cercato di introdurre una divisione in classi. Ma in causa delle trasformazioni inavvertibili ed in considerazione anche del carattere tanto variabile che la medesima nebulosa può assumere in istrumenti di diversa forza, si abbandonò quasi intieramente il suo principio di classificazione, e si è solo conservato nell'uso del linguaggio la divisione in grandi categorie, cioè nebulose irregolari, planetarie, a spirale o ad anello.

Nello studio delle nebulose, si incontrano grandi difficoltà provenienti dalle grandi differenze presentate dalle descrizioni e dai disegni di un medesimo oggetto

eseguiti da differenti osservatori. Si paragonino infatti i disegni qui uniti: la parte superiore rappresenta quattro disegni di una medesima nebulosa. Essa è il numero 4892 del catalogo generale delle nebulose pubblicato da John Herschel, del quale già facemmo menzione. Herschel disegnò l'oggetto, come striscie strette alquanto allargate verso il mezzo; D'Arrest ne fece un parallelogramma regolare a contorni ben definiti con una forte condensazione nel mezzo. Sebbene, volendolo, questi due disegni si possano identificare, per contro quello tracciato da Lord Rosse a mezzo del suo gigantesco cannocchiale in Parsonstown è del tutto diverso dagli altri due: vi si riscontra una larga appendice in forma di vortice, che mostra gran copia di particolarità curiose; il parallelogramma, che prima si era solo avvertito, appare qui unicamente in forma di condensazione, in mezzo alla massa nebulare, foggiata a grana di riso. Il quarto disegno è dovuto a Tempel, un uomo che in grazia essenzialmente della sensibilità fenomenale del suo occhio da semplice litografo giunse ad essere astronomo stimato, ed al quale è dovuta un'intiera serie di scoperte in regioni situate al limite della percezione umana. Da ultimo Tempel osservava sotto il limpido cielo di Firenze con un eccellente refrattore di Amici, di dieci pollici. Sul disegno tracciato a mezzo di questo istrumento, sono di nuovo scomparse tutte le particolarità della nebulosa considerata, che Lord Rosse aveva viste; è rimasta solo l'appendice rotonda del parallelogramma di D'Arrest.

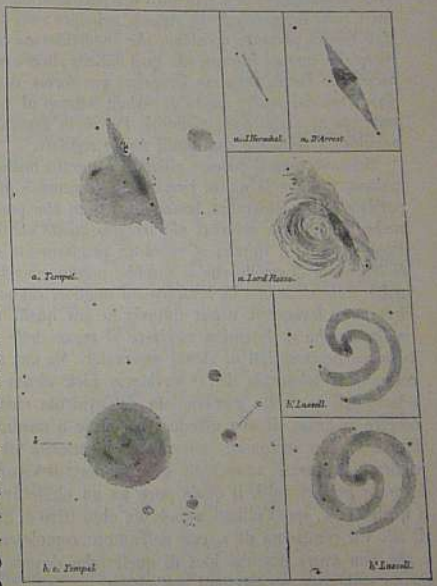


Fig. 152. — Nebulose disegnate da vari osservatori.

La parte inferiore della figura rappresenta in tre immagini una nebulosa detta a spirale (n° 2890 del catalogo generale). I due disegni a destra sono dovuti a Lassell, astronomo privato, che aveva innalzato a Malta un telescopio gigantesco. Se anche i due disegni tracciati ad epoche differenti sono alquanto diversi, è impossibile il non ravvisare il loro carattere a spirale. Da prima Lassell vide i due rami separati, poi all'estremità di uno dei rami egli disegnò una massa nebulosa che andava allargandosi, mentre Tempel vide una nebulosa tonda, che in alcuni

punti mostra delle condensazioni; non si ravvisa traccia di sorta del carattere dello spirale. Ove non si temesse di fare qualche ritocco al disegno di Tempel, si potrebbero far concordare all'ingrosso le condensazioni coi rami dello spirale di Lassell. Ora, a buon diritto, Tempel si meravigliava, che egli vedesse per un lato decisamente più e dall'altro del pari sicuramente meno di Lassell: egli vide fra i rami della spirale la materia nebulare assai densa, ma non la spirale stessa. Egli teneva pertanto opinione, che condividevano con lui parecchi astronomi, che lo spirito umano intraprenda quel difficile ritocco ed inconsciamenta inserisca nel caos delle forme nebulose irregolari una forma regolare a noi comprensibile e desiderata dal nostro modo di vedere intorno al mondo, sopra tutto quando il tutto sta al limite della visibilità. Perciò in generale Tempel non credeva alle nebulose a spirale o con simili forme regolari.

Sebbene non si potesse rifiutare a questo modo di critica una certa autorizzazione, tuttavia le nuove ricerche, segnatamente quelle istituite a mezzo dell'impiego della lastra fotografica, hanno dimostrato che potenze ordinatrici intervengono anche nelle forme nebulari più irregolarmente contorte e lacerate e che la tanto discussa forma a spirale, si riscontra precisamente negli spazi celesti molto più di frequente di quello che si sarebbe potuto congetturare prima. L'autore, ebbe molte volte occasione di lavorare coi migliori cannocchiali del giorno d'oggi in circostanze favorevoli, e pur tuttavia fu tra quelli che dubitavano, od almeno credevano che si dovessero ascrivere al regno delle illusioni soggettive i disegni tanto particolareggiati di alcuni osservatori. Ma una notte avendo potuto guardare col potente telescopio dell'Osservatorio Lick alcuni dei più interessanti oggetti celesti, egli fu molto meravigliato dell'evidente chiarezza colla quale potè riconoscere la forma di una nebulosa a spirale o meglio a doppio anello (37 H IV Draconis). Era veramente notevole la superiorità di definizione di quel meraviglioso istrumento, ad esempio sul refrattore di Vienna, col quale l'autore dovette lavorare per sei mesi, il quale pure ha un obbiettivo inferiore di soli 10 pollici a quello Lick, quest'ultimo avendo un obbiettivo di 36 pollici e quello di Vienna di 26. Un compagno di viaggio dell'autore, completamente profano a queste cose, e che non aveva nessuna idea di quello che doveva vedere concordò completamente nelle sue constatazioni coll'autore.

Ma per questo riguardo molte dilucidazioni sono state apportate, in modo veramente meraviglioso, dalla fotografia. La lastra sensibile potè per intiere notti venire esposta alla debole azione luminosa delle nebulose, azione che per l'occhio che percepisce istantaneamente appena esiste o per lo più non esiste affatto: ed oltre a ciò è costantemente disturbato dallo stato d'agitazione del nostro involucro aereo. Così vennero a disegnarsi dei particolari con una nitidezza tale, che doveva por fine a tutte le discussioni sopra ricordate. Su ciò ci estenderemo maggiormente nelle descrizioni speciali.

Considerando la debolezza di luce della massima parte delle nebulose, non deve destar meraviglia che finora se ne siano esaminate allo spettroscopio relativamente soltanto poche. Fra le nebulose esaminate, Scheiner ritiene che solo le 48 registrate nella tabella a pagina seguente siano state riconosciute come indubbiamente vere nebulose, cioè come masse di gas splendenti, a mezzo delle loro linee lucide.

Catalogo delle nebulose gaseiformi esaminate spettroscopicamente
(secondo Scheiner).

Numero del Catalogo generale	A. R. (1870)	δ (1870)	Osservazioni	Numero del Catalogo generale	A. R. (1870)	δ (1870)	Osservazioni
355	1h 26m	+30,0°	—	4302	17h 21m	−23,6°	Nebulosa anulare
5, 386	1 34	+50,9	—	4314	17 30	−23,8	—
581	2 32	+ 0,5	—	—	17 41	−16,4	Nebulosa planet. P
600	2 36	− 0,6	—	4355	17 54	−23,0	—
826	4 8	−13,1	Nebul. planet.	4361	17 56	−24,4	—
1179	5 28	− 5,5	Nebul. d'Orione	—	17 58	−19,9	Nebulosa planet. P
1180	5 28	− 4,9	c Orionis	4373	17 59	+66,6	„ „
1183	5 29	− 6,0	ι Orionis	—	18 5	−19,1	„ „ P
1185	5 29	− 5,4	—	4390	18 6	+ 6,8	„ „
1225	5 35	+ 9,0	Nebul. planet.	—	18 8	−20,3	„ „ P
1227	5 35	− 1,9	—	4403	18 13	−16,2	Nebulosa Ω
1269	5 40	−69,2	—	4447	18 49	+32,9	Nebul. anulare nella Lira
1532	7 21	+21,2	—	—	18 56	− 0,8	Nebulosa planet. P
1565	7 36	−14,4	Nebul. planet.	—	19 7	+46,1	„ „ P
1567	7 36	−17,9	„ „	4487	19 12	+ 6,3	„ „
1783	9 8	−41,9	„ „	—	19 12	+ 1,8	„ „ P
1801	9 11	−36,1	„ „	—	19 17	+ 1,3	„ „ P
1843	9 18	−57,8	„ „	4499	19 25	+ 9,0	—
2017	10 2	−39,8	„ „	—	19 29	+ 5,4	Nebulosa planet. P
2076	10 14	−62,0	„ „	4510	19 37	−14,5	„ „
2102	10 19	−18,0	„ „	4514	19 41	+50,2	„ „
2197	10 40	−58,9	η Argus	—	19 46	+48,7	„ „ P
2343	11 7	+55,7	Nebul. planet.	4532	19 54	+23,4	Nebul. a manubrio (Dumbell)
2581	11 44	−56,5	„ „	4572	20 17	+19,7	Nebulosa planetaria
2917	12 18	−18,1	—	4627	20 57	+54,1	—
4066	15 8	−45,2	Nebul. planet.	4628	20 57	−11,9	Nebulosa planetaria
4214	16 25	+50,9	—	4827	22 35	+60,6	—
4234	16 39	+24,1	Nebul. planet.	4936	23 13	+ 7,6	—
—	17 7	− 1,8	„ „ P	4964	23 20	+41,8	Nebulosa planetaria
4284	17 10	−51,6	„ „				

Lo spettro di queste nebulose consiste per lo più unicamente di solo quattro linee lucide nettamente definite, che si presentano in tutte nel medesimo posto (vedi la tavola spettrale a pagina 73). Come media di osservazioni intorno ad esse di Vogel, Huggins, D'Arrest e Copeland, Scheiner trovò per queste linee le seguenti lunghezze d'onda: 500,43; 495,72; 486,00; 434,07 μμ. Le luminosità di queste linee stanno fra loro come i numeri 10, 5, 8, 1. L'ultima linea è quindi molto debole, ed in molte nebulose manca del tutto. Queste linee e le ultime presso 486 appartengono senza dubbio all'idrogeno, che a vero dire non manca in alcun luogo; la prima e più lucida linea dello spettro nebulare coincide con una linea dell'azoto,

la seconda per contro presso 496, la quale non manca in nessuna delle nebulose considerate, è di origine del tutto inesplicata. Anche in questo caso, a quanto pare, noi riceviamo a mezzo di un raggio di luce notizia di un gas sconosciuto, che nelle più remote regioni dell'universo lavora alla fabbricazione di mondi, e nel quale forse ci sta dinnanzi una di quelle poche primitive sostanze, dalle quali i partigiani di certi moderni concetti intorno alla natura, credono siano derivati gli elementi chimici. Secondo questa opinione le sostanze primitive possono ancora rimanere separate, soltanto in quelle condizioni originali, lontano dal nostro mondo che s'incammina al suo fine, e nel quale gli atomi non possono più mai liberarsi dalle loro combinazioni tanto complesse. Realmente l'insolita semplicità dello spettro di quei mondi, che per generale convincimento si trovano nei primi stadi della loro evoluzione, spinge energicamente a riflettere intorno a tali questioni.

Però queste quattro linee non sono le sole che siano state scoperte nelle nebulose. Huggins particolarmente per via fotografica trovò una serie di altre linee, così che, secondo Scheiner, il numero delle linee finora scoperte nelle nebulose è di 43. Esse, senza eccezione, sono molto deboli: e due ancora si possono identificare con linee dell'idrogeno, ed un'altra linea scoperta da Copeland nella nebulosa di Orione, rivela anche colà la presenza dell'elio. Le altre linee per lo più riunite in gruppi, hanno in parte qualche rassomiglianza coi gruppi dello spettro del ferro, e relativamente anche del magnesio: ma intorno a ciò non si è ancora ottenuto nulla di determinato.

Ora poichè nello spettro delle nebulose si sono riscontrate quattro linee dell'idrogeno, così è da ritenere come sicuro, che questo elemento ovunque presente, si trova colà in una condizione che è molto diversa da quella che ci è conosciuta: giacchè nello spettro delle nebulose manca intieramente la più lucida di tutte le linee dell'idrogeno, la linea C di Fraunhofer, che noi osserviamo nei laboratori. Ora, come noi già sappiamo, variazioni relative di lucentezza delle linee di un medesimo spettro, sono conseguenza di una condizione fisica molto mutata, che pertanto noi dobbiamo ammettere anche qui.

Nell'elenco sopra stampato delle vere nebulose predominano quelle irregolari e " planetarie ". Queste ultime sono così denominate a cagione del loro aspetto, che è di disco tondeggiante assai regolarmente illuminato e che arieggia con quello dei pianeti, almeno dei più lontani di questa famiglia, sulla superficie dei quali non si può più distinguere alcuna particolarità. I diametri apparenti dei dischi nebulari sono per lo più molto piccoli; negli undici casi che noi nell'elenco contrassegnammo con un P, i dischi appaiono nel cannocchiale come stelle senza diametro, e solo lo spettroscopio svolge il loro carattere di masse nebulari rilucenti. Noi dobbiamo questi undici casi alla rassegna spettroscopica di Pickering.

È molto curioso che le due forme che nella serie delle nebulose stanno ad estremi diametralmente opposti, quelle affatto irregolari e quelle simmetriche quanto lo si può essere, cioè sferiche, si mostrino quali corpi gasosi, e che quindi fisicamente sono ancora sul più basso gradino della loro evoluzione, mentre nelle forme intermedie si presentano molto più frequenti condensazioni, tendenti a produrre lo stato di stelle manifestanti uno spettro continuo. Holden a questo riguardo pensa, che un grande numero di nebulose planetarie, ci sembrino così irregolari per ciò solo che sono situate molto lontano da noi, di guisa che di esse scorgiamo

solo la parte più densa, che anche nelle nebulose irregolari estese, come ad esempio in quella di Orione, ha una forma ad un dipresso rotonda. Holden col suo strumento, che in grado eminente ha forza di penetrazione nello spazio, ha osservato nell'interno di nebulose planetarie delle grandi irregolarità, che lo sospinsero a quella congettura. Le nebulose stellari di Pickering sarebbero quindi gli ultimi estremi di questa apparente regolarità, che si presenta tale solo in causa della lontananza.

In questo senso emerge sensibilmente la nostra completa ignoranza sulla distanza delle nebulose. Già per le stelle fisse, che come punti offrirebbero la migliore occasione alla misura di tenui movimenti apparenti, le difficoltà sono quasi insormontabili. Queste distanze si possono solo ricavare in modo esatto da certi movimenti apparenti, che in realtà non sono che il riflesso del nostro proprio movimento di rivoluzione intorno al Sole. Per le stelle fisse questi movimenti sono già per lo più estremamente piccoli; le nebulose poi non porgono alcun appiglio a misure così delicate. Già vedemmo dianzi, come al mutar delle circostanze si notino in una medesima nebulosa conformazioni affatto diverse. Quindi nelle osservazioni che debbono essere proseguite per mesi ed anni, necessarie per poter accertare con qualche sicurezza degli spostamenti minimi, non si potrà sempre identificare colla necessaria esattezza un punto dell'oggetto sottoposto a misura, e una prima volta percepito ed avvertito dall'occhio. Gli errori che provengono da ciò alterano intieramente il risultato della misura.

Pertanto circa la distanza delle nebulose, possiamo soltanto indicare i limiti inferiori, quali all'ingrosso e complessivamente dobbiamo ammetterli per le stelle fisse. Le nebulose quindi sono lontane da noi almeno tanto quanto le stelle fisse, probabilmente ancora molto più. Per lo meno devesi ciò ammettere di quegli ammassi stellari, nei quali i puntini luminosi sono siffattamente pigiati l'uno contro l'altro, che spesso destano perciò l'impressione di una vera nebulosa, quando senza alcuna ragione particolare non volessimo supporre, che precisamente in quelle forme, i Soli siano realmente di molto più vicini fra loro, di quel che generalmente non sia nell'universo. Ora poichè molte nebulose contengono anche vere stelle molto addensate, così anche ad esse si può applicare il nostro ragionamento.

Alcune nebulose, e segnatamente le irregolari, hanno dimensioni apparenti molto grandi, le quali, come già avvertimmo, superano d'assai quelle di tutti gli altri corpi celesti permanenti. Riportiamo qui secondo Littrow e Weiss le superficie di sei delle massime nebulose.

Nebulosa	A. R.	Declinazione	Gradi quadrati
Nei Pesci	$0^h\ 17^m$	$+\ 4^\circ\ 0'$	7,6
In Andromeda	0 40	+ 43 21	8,6
Nell'Auriga	5 16	+ 25 0	3,4
In Orione	5 35,3	− 4 34	4,6
In Boote	14 0,3	+ 34 1	1,6
Nell'Acquario	20 1,7	− 2 23	4.1

La grande nebulosa di Andromeda occupa quindi sulla vôlta del Cielo uno spazio più di tre volte maggiore di quello occupato dal Sole. Se pertanto noi ci atteniamo per la sua distanza al limite inferiore, ed ammettiamo che essa sia lontana da noi quanto le stelle fisse di prima grandezza, cioè in cifre rotonde 200.000 unità delle distanze astronomiche (distanza media del Sole dalla Terra), allora avremo che questa forma misteriosa, nella sola estensione superficiale è maggiore di ben 200.000×30, ossia circa sei millioni di volte del nostro Sole, le cui dimensioni grandiose, per lungo tempo sfuggite alla nostra potenza di concepimento, oppongono le più serie difficoltà ad un loro qualsiasi confronto numerico colla grandezza della Terra. Qui gli spazi di tutti questi sistemi di mondi così ampi, ed ancora più estesi del nostro regno planetario intiero fino ai suoi ultimi limiti, nei quali il Sole costringe le comete al ritorno, sono ripieni di una miscela di gas, che probabilmente si trovano in uno stato di rarefazione estrema, e probabilmente risplendono solo per questo, e non come si credeva altravolta di dover ammettere, perchè sono caldi fino all'incandescenza. Oggidì noi sappiamo che vi sono delle condizioni fisiche, nelle quali un gas estremamente rarefatto rilnce costantemente, qualunque d'altronde possa essere la sua temperatura. La luce polare, e probabilmente anche le code delle comete, ripetono la loro visibilità da questa proprietà.

Or non è molto Wolf in Heidelberg, e più tardi altri, scopersero delle nebulose o meglio veli nebulari stendentisi sopra intiere costellazioni; ed a ciò fare si valsero di ordinarie macchine fotografiche, che a questo scopo hanno il vantaggio di accoppiare un largo campo di visione con grande intensità di luce. Queste nebulose fanno nascere spontaneamente l'idea che tutto l'universo sia ripieno di una specie di aria: l'*etere cosmico*, che in certe regioni sta più condensato che in altre. Per comprendere questi veli nebulari nella nostra serie di stadi di evoluzione, non possiamo che disporlo innanzi ancora alle estese nebulose irregolari del pari e lucenti come un primo stato di evoluzione. Siamo così condotti alla congettura che i mondi vengono poco per volta formandosi con quest'aria celeste, che noi dobbiamo considerare come il veicolo delle onde luminose, non altrimenti che la nostra aria terrestre è il veicolo del suono. Qui noi riconosciamo ben chiaramente una legge: le forme nebulari di luce più debole hanno l'estensione maggiore. In esse quindi l'aria celeste deve essere più che nelle altre sottile, giacchè se le distanze a noi sconosciute dovessero avere qualche parte relativamente ai rapporti di luce, esse potrebbero solamente agire in senso inverso, cioè le nebulose più piccole ed in media altresì più lontane dovrebbero anche apparire più deboli di luce. Per contro le nebulose irregolari e meno estese sembrano tanto più lucide quanto più sono piccole, e questo si continua, in generale, anche nelle forme regolari di questa specie. Noi crediamo pertanto di poter ritenere che i fatti constatati coll'osservazione (senz'altra supposizione che quella che le formazioni vedute in Cielo sono i vari gradi di un processo di formazione svolgentesi generalmente in modo analogo) stabiliscono, in guisa almeno assai attendibile, che quei mondi si siano venuti poco per volta condensando da una sostanza molto tenue presente ovunque nell'universo.

In connessione con questi concetti di evoluzione sta molto probabilmente anche il fatto che in parecchie regioni del Cielo si trova raccolto un gran numero di

nebulose vicine a formare i così detti *nidi di nebulose*. Quando si dirige un potente cannocchiale sopra una di queste regioni, che sono particolarmente frequenti nella costellazione della *Vergine*, e lo si fissa in modo che il Cielo in grazia del movimento diurno vi scorra davanti, il nostro campo di visione per delle mezze ore non resta mai senza una grande o piccola nebulosa. Se si fa astrazione da alcuni grandi vani, si vede subito che una lunga catena di nebulose si estende quasi normalmente alla *Via Lattea*, a partire dalla *Vergine*, passante per la *Grande Orsa*, attraversando la *Via Lattea* presso *Cassiopea* e giungente attraverso al *Centauro* fino ad *Andromeda*. Probabilmente questa catena si chiude in un anello completo sull'emisfero meridionale pur sempre non abbastanza studiato; anello che potrebbe essere denominato la *Via Lattea delle nebulose*. I singoli nidi di nebulose che sembrano qui riunirsi in un massimo sistema, possono pur sempre venir riguardati come una grande nebulosa connessa, i cui nodi luminosi sono per noi nebulose separate, mentre la materia nebulare che sta fra di essi, a cagione della grande distanza, è troppo debole per poter essere ancora avvertita da noi, ovvero si può ritenere che il lavoro di condensazione sia qui tanto progredito, che la nebulosa primitiva si sia scissa in ammassi separati.

Da queste nebulose multiple facciamo passaggio alle *nebulose doppie*, le quali si presentano in Cielo assai più frequentemente, di quanto non corrisponda alla probabilità nell'ipotesi di una distribuzione in media regolare. Incontreremo più tardi nelle stelle doppie lo stesso fenomeno, e dobbiamo ammettere ora, come lo dovremo allora, che questo appaiamento non è per nulla accidentale o puramente ottico, così che in realtà questi due oggetti si trovino a grande distanza l'uno dietro l'altro, ma bensì che essi si trovano l'uno all'altro vicino e stanno realmente in connessione fisica. Se ciò avviene realmente, le due nebulose debbono nel corso del tempo essersi vicendevolmente influenzate, e compiere dei movimenti attorno al loro comune centro di gravità. Ma lo studio di questi mondi lontani è ancora troppo giovane per dare delle risposte a cotali questioni. In una sola di queste nebulose doppie, nei *Gemelli* in AR $7^h\ 19^m$, D $+29°\ 41'$, D'Arrest crede di aver notato delle traccie di un movimento di rivoluzione. I movimenti propri di nebulose isolate, sono, come di leggieri si comprende, ancora più difficili a scoprirsi. Indagini istituite intorno a ciò, hanno dato dei risultati negativi.

Poichè tutte le stelle fisse hanno movimenti propri, così dal valore medio dei movimenti propri delle due classi di astri, si potrebbe conchiudere ad una distanza relativamente maggiore o minore dell'una o dell'altra; giacchè si può ben ammettere che in realtà i movimenti medi di tutti i corpi celesti siano uguali per ogni distanza da noi. Se pertanto le nebulose mostrassero un movimento minore di quello delle stelle fisse, ciò sarebbe una prova della loro maggiore distanza da noi, che ci fa sembrare più breve il cammino da esse percorso. In questi ultimi tempi Keeler, col grande refrattore Lick, ha potuto provare spettroscopicamente che le nebulose posseggono realmente dei movimenti di un ordine di grandezza eguale a quello delle stelle fisse. Per quanto queste forme possano essere da noi smisuratamente lontane, il raggio di luce che da esse si diparte deve pur sempre accorciare od allungare la sua lunghezza d'onda, a seconda che la nebulosa in movimento viene accostandosi od allontanandosi da noi. Keeler misurò la distanza della più lucida linea delle nebulose presso 500,6 da una linea del magnesio

prodotta artificialmente, e trovò per diverse nebulose la sua posizione deviante d'alquanto. Però in questo caso non è possibile di ricavare valori assoluti dei movimenti lungo la visuale, poichè quella linea delle nebulose non può con piena certezza ascriversi all'azoto e quindi neppure venir paragonata colla linea corrispondente prodotta artificialmente. Ma se si ammette che la media di tutte le posizioni misurate di questa linea corrisponda allo stato di riposo, che quindi tutte le nebulose esaminate, considerate complessivamente, non hanno nello spazio alcuna direzione di movimento preferita, allora la deviazione della linea di ogni singola osservazione dalla posizione media darà almeno approssimativamente il movimento proprio cercato.

Keeler non potè finora esaminare in questa guisa che dieci nebulose, ed ha con ciò trovati dei movimenti propri lungo la visuale, che tanto in media, quanto negli estremi sono completamente paragonabili a quelli delle stelle fisse. La media risultò di circa 21 km. al minuto secondo. I movimenti più rapidi furono presentati dal n° 4373 del catalogo generale con 47 km. di avvicinamento al minuto secondo e dal n° 6790 con una distanza da noi crescente di 58,5 km. al secondo. Si deve riguardare come uno dei più grandi trionfi dei nostri moderni metodi di ricerca quello che ci ha messi in grado di poter misurare con misure terrestri i movimenti di quelle lontanissime fra le formazioni cosmiche, sebbene questi cambiamenti di sito debbano per tutti i tempi venir celati alla nostra contemplazione diretta.

Ma per quanto importante possa essere il risultato di Keeler, esso, pur troppo, nulla ci dice sulla vera distanza delle nebulose, per la quale sarebbe pur tanto desiderabile di poter trovare un punto di partenza. Di fronte a questa incertezza è degno di nota il tentativo fatto da Wilsing in Potsdam di constatare per via fotografica sopra una nebulosa quello che gli astronomi conoscono col nome di *parallasse annua*. Questa è quel piccolo spostamento prospettico che deve verificarsi nel corso di un anno fra due oggetti diversamente lontani, in causa del cambiamento di posizione nello spazio che la Terra subisce durante la sua rivoluzione attorno al Sole. Wilsing ha rilevato una nebulosa conveniente colle stelle circostanti 34 volte dal giugno 1892 al giugno 1893. Ogni volta fu misurata nel modo più accurato la posizione della nebulosa rispetto a due stelle di undicesima grandezza che si trovano nelle sue vicinanze. La misura sulla lastra offre, in questo caso, indubbiamente più sicurezza che la misura diretta. In questo modo non si potè, è vero, trovare la vera distanza della nebulosa in questione, poichè quella delle due stelle è del pari ignorata, ma almeno negli spostamenti prospettici, dato che se ne scoprissero, si paleserebbe quale oggetto sia il più lontano. Ora Wilsing trovò realmente una così detta parallasse negativa per la nebulosa ($-0{,}083''$ dal paragone con una stella, e $-0{,}172''$ coll'altra) cosicchè, ove questi due piccolissimi angoli abbiano un valore reale, la nebulosa deve essere molto più lontana da noi delle stelle di paragone, le quali, a cagione appunto della loro grande debolezza di luce, devono già essere considerate come situate all'estremo limite del nostro Universo stellato.

Molto raro e per il momento ancora non spiegato è il fatto, che alcune nebulose sembrano essere soggette a fluttuazioni di splendore, giacchè le spiegazioni che si possono addurre per la variabilità di una serie di stelle fisse, non sono

qui applicabili. Si conoscono circa dieci casi di tali nebulose variabili, dei quali però non tutti si possono ritenere come non dubbi. Ciò si spiega pensando come una medesima nebulosa sia spesso percepita diversamente. Però quando, come avvenne per una nebulosa scoperta da Hind nell'anno 1852, presso le *Jadi* (AR $4^h\,16^m$ D $+19°\,17'$), l'oggetto fu prima veduto benissimo con istrumenti imperfetti, e quindi con cannocchiali sempre migliori e di luce più potente fu veduto gradatamente più debole, sembra che non possa più sussistere alcun dubbio sulla realtà della diminuzione di luce.

Tuttavia ciò non deve concedersi senz'altro, se si rammenta quanto molto più sopra fu detto sul modo di agire del cannocchiale. Quanto più grandi obiettivi si vennero adoperando col progresso del tempo, tanto più forti ingrandimenti si dovettero contemporaneamente usare. Ma a cagione di ciò, in date circostanze, la debolissima luce della nebulosa veniva distesa sopra una superficie troppo larga, per poter ancora suscitare un'impressione sulla nostra retina. Quindi per le grandi nebulose di luce molto debole, i cannocchiali piccoli, di debole ingrandimento, ma di un largo campo di visione, hanno un incontestabile vantaggio. Ciò apparve segnatamente nelle molteplici discussioni che s'intavolarono intorno alla presenza di una grande nebulosa presso la stella *Merope* nelle *Plejadi*. Tempel vide primamente quest'interessante oggetto con un piccolissimo cannocchiale a mano di due pollici (5 cm.), che egli, allora commesso litografo in Venezia, si era procurato per inclinazione allo studio del Cielo. Ma poichè astronomi di peso non avevano, nei loro potenti cannocchiali potuto scoprire traccia alcuna di quella nebulosa, era possibile che Tempel si fosse ingannato. Più tardi però altri osservatori videro in quella posizione almeno un debole bagliore, poi un amico dell'astronomia alla Giamaica si fece vivo coll'annunziare che egli aveva veduto nettamente l'oggetto in contestazione con un cannocchiale di quattro pollici (10 cm.). Si pensò allora che la nebulosa fosse variabile d'intensità di luce, mentre molto probabilmente soltanto la diversità degli ingrandimenti adoperati era causa delle diverse opinioni degli osservatori.

La stessa cosa si è verificata con alcune nebulose così dette stellari, che Herschel registra nel suo catalogo. Queste, ad un esame superficiale, non si distinguono da una stella fissa: esse sono però circondate da un'atmosfera nebulare estesa, molto debole di luce, ma limitato abbastanza nettamente verso l'esterno. Molti osservatori, dopo il grande scopritore, non potevano più scorgere quell'atmosfera. Ma l'autore, coll'aiuto del grande refrattore di dieci pollici (25 cm.) di Ginevra, potè convincersi che coll'intiera apertura dell'obiettiva l'atmosfera nebulare di quelle stelle non era mai visibile, mentre lo diveniva bene e distintamente, con un'apertura assai più piccola e con un ingrandimento scelto convenientemente. Sembra che in questo caso la luminosità generale del fondo del Cielo abbia qualche parte, parendo che quel fondo non venga dalla quantità di luce comportata dall'obiettivo o dall'ingrandimento adottato, dilucidato in quella guisa medesima in cui lo è un oggetto lucente. In certe circostanze non rimane più alcuna differenza tra la luce che proviene da un oggetto debolmente illuminato e la luminosità del fondo del Cielo, dal quale, come è noto anche nelle più oscure notti piove pur sempre un po' di luce; le due luminosità si confondono quindi assieme. Col diminuire la

luce che attraversa l'obiettivo, anche con uno stesso ingrandimento, quella differenza può essere accresciuta, e quindi l'oggetto divenire visibile.

Da queste considerazioni appare a sufficienza, come sia difficile di scoprire qualche cosa di determinato sulla variabilità delle nebulose. Però in un caso o due sembra che una fluttuazione periodica non sia da porsi in dubbio. Una di queste nebulose si trova nella *Balena* in $AR = 2^h 26^m$, $D = -1° 32'$. Uno stesso osservatore (Schönfeld) col medesimo istrumento ed in circostanze astronomiche favorevoli, una volta non la potè vedere, mentre un'altra la vide senza difficoltà. A ciò si aggiungono anche osservazioni di altri conoscitori, D'Arrest, Vogel, Winnecke, il quale ultimo, per il primo, diede contezza della variabilità. Un'altra nebulosa nel Leone fu dichiarata dal vecchio Herschel come molto lucida, dal giovane, alcune diecine d'anni più tardi, detta debole (1830). Dieci anni dopo, quella nebulosa era secondo Boguslawski di nuovo molto lucida, nel 1856 apparve a Winnecke discretamente lucida, debole a D'Arrest nel 1863, e finalmente negli anni 1878 e 1879 D'Arrest la vide di nuovo lucida. Questa nebulosa pertanto vuol essere tenuta d'occhio in avvenire. In questi ultimi tempi anche Barnard e Bigourdan hanno richiamato l'attenzione sopra casi simili di nebulose variabili.

Fig. 153. — Il cinto (*a*) e la nebulosa d'Orione, rilievo fotografico di Russell in Sidney.

Dopo aver considerato ed imparato i principali caratteri delle nebulose, pren-

(*a*) [I Tedeschi chiamano spesso *Jakobstab* (bordone) quello che dicemmo *Cinto d'Orione*. Questo è costituito dalle tre stelle δ, ε, ζ, in linea retta, e si trova nella costellazione di Orione. (O. Z. B.)].

diamone in esame separatamente alcune, in quell'ordine che ci è indicato dal supposto processo di evoluzione di queste forme. Incominciamo dalla più interessante di tutte le nebulose irregolari, nella *Spada d'Orione* (AR = 5^h 30^m, D = $-5°57'$).

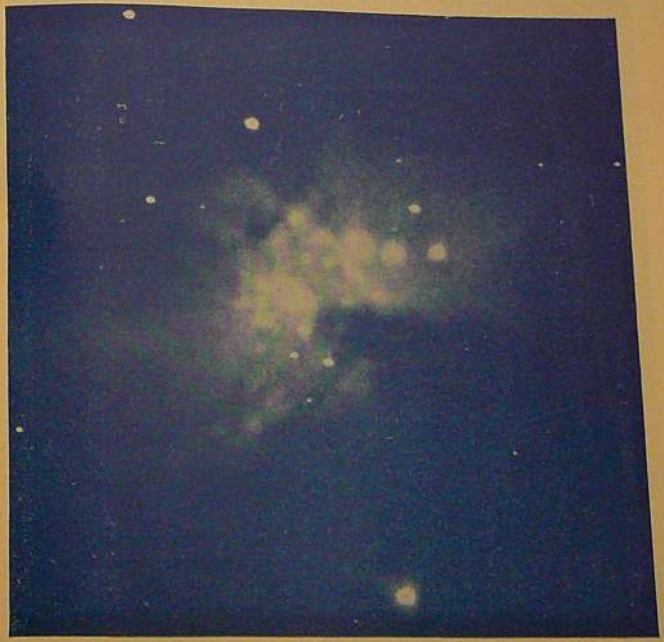


Fig. 154. — Rilievo fotografico della nebulosa d'Orione, eseguito da Draper nell'anno 1882.

Nelle notti d'autunno o d'inverno, quando la meravigliosa costellazione di Orione si è sufficientemente elevata sopra il nostro orizzonte, un occhio attento la trova facilmente, sotto e vicino alle tre notevoli stelle che rappresentano il *Cinto di Orione*, e che son dette anche il *bordone*. È curioso come quest'oggetto, così facilmente visibile ad occhio nudo, sia, a quanto sembra, stato scoperto per la prima volta a mezzo del telescopio. Esso è nominato per la prima volta da Cysat nel 1620. La prima descrizione estesa proviene da Huygens nell'anno 1659; da quell'epoca la nebulosa è stata descritta e disegnata da molti altri astronomi, e pochi anni or sono Holden ha pubblicato una esauriente monografia intorno a questa nebulosa; i disegni in essa riprodotti in ordine storico, dànno ancora

una volta una prova interessante di ciò, che lo stesso oggetto può da diversi osservatori essere visto nel modo più radicalmente differente.

Per facilitare l'orientamento nel cannocchiale, diamo a pagina 364 una fotografia di questa porzione di Cielo, eseguita da Russell in Sidney nell'anno 1890. In basso noi vediamo le tre stelle di seconda grandezza del Cinto, a destra in alto sta un'altra stella di seconda grandezza, che rappresenta uno dei piedi di Orione. La nebulosa occupa la parte centrale della figura. Quelle chiazze più lucide a sinistra e per obliquo sovrastanti al *Cinto* sono imperfezioni della lastra, che nei rilievi astrofotografici non deve mai venir ritoccata.

Fig. 155. — Disegno della nebulosa d'Orione fatto da Le Gentil nell'anno 1758.

La prima fotografia della nebulosa di Orione fu ottenuta da Draper il 30 settembre 1880 con un istrumento di 28 cm. di apertura ed un'esposizione della durata di 51 minuto. Nel marzo 1882, con un'esposizione di 137 minuti, Draper ottenne la fotografia riprodotta a pagina 365. Queste o quelle molto migliori dei giorni nostri, ovvero anche i più squisiti disegni, non possono in modo alcuno dare un'idea neppure approssimata, della potente impressione che produce quest'oggetto straordinario nei nostri moderni apparecchi di visione di forte luminosità. Vi è una farragine di formazioni curiosissime, che sfidano ogni descrizione: regioni splendenti, nelle quali con un'aria affatto tranquilla scintillano innumerevoli nodi luminosi. Esse sono attraversate da un sistema di canali oscuri, che separano la massa nebulosa in parti che spesso si mostrano notevolmente regolari, triangoli, quadrangoli, ecc. Una regione oscura quasi esattamente conformata a quadrangolo verso l'interno della nebulosa si protende da Est molto notevolmente nella massa lucida, così che essa fu da Le Gentil, già nel 1758, rappresentata in modo schematico, come appare dalla figura 155. In mezzo a questo caos di dettagli stanno disseminate delle stelle fino ai più minuti puntini: le quattro più cospicue di esse formano alquanto, dietro la menzionata apertura oscura, la forma di un trapezio; quell'apertura è detta talvolta la *bocca del Leone* (vedi la qui unita tavola). Intorno al trapezio sta una regione di splendore più pallido, ed anche presso altre stelle, particolarmente più lucide, si nota che quasi sembra che esse abbiano intorno a sè assorbito parzialmente la sostanza nebulare. Una regione interna molto lucida è distintamente circondata da un esteso e debole velo nebulare, che recenti osservazioni vorrebbero si protendesse fino alle Plejadi, lontane di 20°. La parte interna ha quasi esattamente la forma di un triangolo rettangolo, essa fu chiamata la *regione di Huygens*. È degno di nota che essa è orientata parallelamente al trapezio che sta a Nord Est di essa; così che i lati paralleli di questo hanno la stessa direzione di un lato del triangolo di Huygens. Anche il secondo lato del triangolo corre assai prossimamente parallelo ad un

LA NEBULOSA D'ORIONE

Dal disegno eseguito durante gli anni 1859—63 in Washington.

corrispondente lato del trapezio, e l'altro ancora sembra rispecchiarsi in una delimitazione rettilinea della regione di Huygens.

Questi dettagli si ritrovano subito nel bel disegno fatto a mezzo del grande refrattore di Washington negli anni 1859-63, e che oggi ancora è uno dei migliori. Su questo disegno inoltre (vedi l'unita tavola: *Nebulosa d'Orione*) si scorge molto distintamente che le masse nebulari circostanti più deboli, si dipartono dal triangolo centrale con raggi e bracci molteplicemente incurvati; così si protendono lontano nello spazio delle ramificazioni, che evidentemente sono in dipendenza genetica col nucleo nebulare. Le curve di queste braccia non sono senza legge; rivolgendo verso l'alto il cuspide del triangolo di Huygens, tutti i rami che da esso si dipartono a sinistra, girano verso destra, tutti quelli a destra, verso sinistra. Se quindi sul disegno di Washington s'immaginano i rami prolungati in questo senso, alcuni di essi debbono incontrarsi da destra e da sinistra lontano sopra il triangolo. Recenti rilievi fotografici mostrano infatti quest'incontro. La nebulosa appare come un grosso anello da suggellare.

Da questa rapidissima descrizione risulta abbastanza che, strettamente parlando, la nebulosa di Orione non può essere annoverata fra le forme di questa specie affatto irregolari. Se a primo aspetto essa ci appare quale un inestricabile caos di masse gasose ondeggianti l'una sull'altra, tuttavia ad una più attenta disamina ci appare, che già qui pure le potenze ordinatrici della natura hanno potentemente operato per introdurre in questo mondo smisuratamente esteso almeno i primi grandi tratti comuni. In questi tratti concordanti, noi leggiamo con profonda meraviglia che una legge comune trattiene assieme e governa quegli esili veli di nebbia, la cui tessitura atomica deve pur essere così infinitamente sottile, che a petto di essa la nostra aria è da considerarsi come una massa viscosa e simile alla pece. Noi presentiamo appena la natura della legge, che qui spinge all'ordine, ciò nondimeno non si può non riconoscere una tendenza alla rotazione di tutta la massa che a mezzo di giri ricongiunge le ramificazioni e dà al complesso la forma di una nebulosa a spirale od anche ad anello. In questa curiosissima fra tutte le nebulose noi vediamo anche in assieme iniziati tutti i gradi di evoluzione che osserviamo separatamente nelle altre nebulose. In molti luoghi realmente non si riesce a scoprire nessun intervento di una forza ordinatrice nel caos delle sue masse gasose. In altri luoghi, specialmente là ove dei canali attraversano gli spazi lucenti, la materia comincia già ad agglomerarsi in nuclei separati, che sembrano destinati ad essere in avvenire i centri della formazione di stelle isolate o di gruppi di stelle. Nel trapezio questa evoluzione è già avvenuta; la quantità di materia nebulare preponderante in questa regione si è già condensata in stelle, così che qui la nebulosa deve riuscire assai meno splendente. A questa congettura si potrebbe obiettare che nulla di certo è noto circa la vera posizione del trapezio rispetto alla nebulosa, giacchè le quattro stelline, alle quali nei forti cannocchiali se ne accompagnano altre due, possono in realtà stare molto lontane dalla nebulosa, e non avere con essa relazione fisica di sorta; potrebbe anche darsi che la posizione delle stelline rispetto alle regioni nebulose, anche così particolarmente simmetrica, quale la descrivemmo in precedenza, fosse opera del caso. Questa sarebbe una coincidenza già di per sè molto improbabile, ma le ricerche coll'analisi spettroscopica ne fanno certi che il trapezio e la nebulosa sono fisicamente

connessi. In questi ultimi tempi, Campbell e Keeler, rispettivamente negli Osservatori Lick ed Alleghany, hanno istituito a questo riguardo delle ricerche importanti col metodo fotografico. Nella tabella seguente sono trascritte le lunghezze d'onda da loro trovate per le linee delle nebulose. I nomi sovrastanti alla prima e seconda colonna sono quelli dei due osservatori, i risultati ottenuti dai quali sono stati riprodotti separatamente, all'unico fine di mettere in evidenza la grande esattezza colla quale oggi si possono istituire cosifatte misure.

Le linee lucide nella nebulosa d'Orione secondo Campbell e Keeler.

Campbell	Keeler	Linea	Campbell	Keeler	Linea
500,3	500,71	I. Linea di nebulosa	410,2	410,10	H_δ molto lucida
495,9	495,90	II. " "	406,7	406,9	lucida
486,1	486,15	H_β molto lucida	402,6	402,6	"
471,6	471,6	lucida	396,9	397,00	H_ε molto lucida
466,2	466	"	388,9	388,92	H_ζ lucida
447,2	447,12	molto lucida	386,9	386,89	"
438,9	—	lucida	383,5	383,6	H_η "
436,4	436,5	"	—	381,4	molto debole
434,1	434,06	H'_γ linea lucidissima	379,8	380,0	H_ϑ debole
426,5	—	molto debole	377,0	—	H_ι "
423	—	" "	374,9	—	H_κ molto debole
414,3	—	debole	372,7	372,65	molto lucida
412,1	—	"			

Adoperando delle lastre ortocromatiche, vennero, oltre a queste, trovate alcune altre linee nel giallo e nel verde; fra queste, merita di essere nominata particolarmente la linea D_3 dell'elio presso a 587.6. Inoltre va accennata la linea 447,2, che nell'elenco precedente è indicata quale molto lucida; essa è la linea di Orione, che altravolta fu solamente supposta nella nebulosa, come linea lucida, da Copeland. I rilievi dei due osservatori americani si estesero anche alle stelle del trapezio, nelle quali furono vedute oscure quasi tutte le linee dello spettro nebulare, ed in particolare anche la linea di Orione di origine sconosciuta. Poichè le linee nebulari si mostrano particolarmente nette, e si distaccano sullo spettro stellare " come una punta di freccia „, così la coincidenza si può stabilire con grandissima esattezza; da esse poi emerge segnatamente, anche con sicurezza, che le stelle del trapezio non hanno, rispetto alla nebulosa, alcun movimento proprio. Questo è un fatto importante. Noi vedremo infatti più avanti che tutte le stelle si muovono attraverso lo spazio, per ogni verso, con maggiore o minore velocità, e senza dubbio ciò avviene anche per le stelle del trapezio. L'osservazione c'insegna pertanto che stelle e nebulosa battono la medesima via, altra prova della loro mutua connessione e dipendenza fisica. Un'altra interessante scoperta dei prelodati astronomi prova con precisione che le stelle non possono stare davanti alla nebulosa. Infatti alcune delle più lucenti linee nebulari appaiono ancora lucide, fra le linee stellari oscure, come già osservammo per le protuberanze, che si proiettavano

sulla superficie solare. Quindi qui, davanti alle stelle, deve necessariamente trovarsi della materia nebulare.

Ma lo spettro della nebulosa di Orione non è per nulla identico in tutte le parti dell'immensa regione celeste che essa occupa, e d'altronde già in precedenza non si poteva attendere che la cosa procedesse altrimenti. Le linee non hanno dappertutto fra loro gli stessi rapporti di luce, il che permette di ammettere condizioni fisiche differenti nelle varie regioni, pur ritenendo uguale la composizione chimica generale. Per questo riguardo è interessante un'osservazione di Campbell sopra una piccola nebulosa planetaria nelle vicinanze della nebulosa di Orione. Egli la osservò in quel modo medesimo col quale si sogliono esaminare le protuberanze solari, con una fenditura largamente aperta. Con questo mezzo ogni linea della nebulosa produceva un'immagine di essa. Ora si verificò che ciascuna di queste immagini aveva un'ampiezza molto diversa: le linee nebulari più lucide, che si debbono ascrivere alla sostanza sconosciuta, davano un'immagine molto più piccola delle linee dell'idrogeno. Da ciò sembra seguire che qui la sostanza

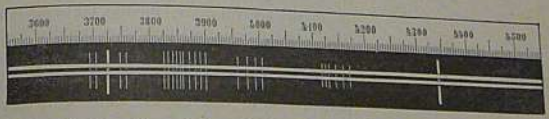


Fig. 156. — Spettro della nebulosa d'Orione e delle stelle del Trapezio. Secondo rilievi fotografici di Keeler e Campbell.

sconosciuta, riempia soltanto le parti interne della nebulosa e sia circondata da una vasta atmosfera d'idrogeno. In questa maniera si potrebbe anche spiegare perchè non si possa ritrovare quella sostanza, nelle stelle già quasi formate, quando precisamente si dovrebbe ammettere che essa debba formare il nucleo dei corpi celesti, come in questo caso.

La nostra conoscenza della forma della nebulosa di Orione fu mirabilmente completata dalla scoperta di una immensa fascia nebulare incurvata, che fatta già da Pickering nel 1889, non fu ulteriormente presa in considerazione, finchè Barnard non fissò fotograficamente ancora una volta la striscia con una lente piccolissima destinata ad una lanterna per proiezioni. Con una durata di esposizione di due ore, e di un'ora e un quarto in un altro caso, si disegnò una nebulosa estremamente fina, che non si può riavere in riproduzione diretta, e che fu perciò disegnata da Barnard sopra una carta della costellazione, come nella figura 157. La vera nebulosa d'Orione è distinta con alcuni tratti più pronunziati. Essa è, come si vede, circondata da una gigantesca fascia nebulare incurvata a forma di serpente, la cui estremità di testa comincia alquanto sotto il Cinto d'Orione, essa si volge quindi fra la grande nebulosa e Rigel (β Orionis), e divenendo sempre più esile avvolge con un grande arco il Cinto d'Orione, nelle vicinanze di γ Orionis. Un'altra striscia sembra passare per il Cinto d'Orione stesso, dalla stella più meridionale (inferiore) del quale si stacca un velo più ampio, che giunge fin verso la grande nebulosa. Se si immagina che questa forma sia prolungata, essa diviene una spirale completa, che cominciando dalla grande nebulosa, come noi abbiamo

segnato sul disegno con una linea punteggiata, gira quasi per tutta la costellazione. Il diametro di questa spirale ammonta a 14° o 15°, estensione che anche coll'inconcepibile unità di misura, colla quale ne è forza misurar questi mondi lontanissimi, deve dirsi immensa. Ma non pare che con ciò si siano trovati gli estremi confini di questa spirale gigantesca: al di là di Rigel è accennata un'altra fascia, incurvata nel medesimo senso, e che quindi probabilmente appartiene ad una seconda spira; la sua estrema debolezza di luce resiste probabilmente ancora ai nostri più raffinati mezzi d'indagine. Per chi pensa è estremamente meravigliosa quella materia così rarefatta, quale quella che solo possono contenere quei veli luminosi che vediamo distesi su regioni smisuratamente estese e che li mantiene, al pari di altre simili conformazioni, fra loro in un'intima dipendenza, che solo può loro dare la figura di spirale o simili. Quanto più noi ammiriamo cotali meraviglie della struttura del mondo, tanto più ci esalta quella sensazione solenne che innalza l'animo, che già in noi si appalesa indistinta all'aspetto del Cielo stellato, e che ha sua origine in quella persuasione di una grande unità e di una forza creatrice dei mondi, che si fa sempre più profonda man mano che ci avanziamo nello studio del Cielo.

Fig. 157. — Nebulosa a spirale che circonda la nebulosa d'Orione. Secondo un rilievo fotografico di Barnard.

Se in quell'oggetto noi vediamo realmente un mondo in via di formazione, non dovrebbe stupirci se si constatassero in esso dei mutamenti reali. Ora, poichè molti osservatori credono di aver constatato tali cambiamenti, così quasi ci sembra di dovere in questo caso respingere i dubbi sollevati prima intorno a simili constatazioni, e non ritenerle solamente come causate dalla differenza delle condizioni ottiche. Il vecchio Herschel, un osservatore che raramente s'ingannava, credeva alla variabilità della nebulosa d'Orione, e Struve, un osservatore certo non meno competente, paragonò specialmente la regione più interna, denominata Huygens, e che splende lucidamente, ad un mare perpetuamente agitato: sembra che qui la forza creatrice sommuova e scuota gagliardamente un'immensa regione dello spazio per portare ordine e disposizione in quel caos. La circostanza, che nel dominio della nebulosa d'Orione si trovano insolitamente numerose le stelle variabili, parla egualmente in favore della variabilità della nebulosa stessa.

Presso al nucleo lucente sta la particolarità più notevole di tutto l'oggetto, la regione affatto priva di stelle o di nebulose, ad Oriente del primo, le *Fauci del Leone* ossia il *Sinus Magnus*. Se ci facciamo a ricercare la sua origine, la sua maniera d'essere, e se non vogliamo rinunziare ad una spiegazione, dobbiamo limitarci a mere congetture. La cavità profondamente oscura non può essersi originata dall'agglomerarsi della materia originariamente distribuita molto regolarmente in quel luogo, come si può con probabilità ammettere sia avvenuto per le regioni più debolmente lucenti nei dintorni del Trapezio; poichè non esistono

stelle che abbiano aggregato a sè quella materia. Se noi cerchiamo un'altra causa, allora all'aspetto di quella regione involontariamente ci si presenta l'idea che qui sia penetrato dal di fuori alcunchè, che abbia sospinto fuori la materia nebulare. In favore di ciò non si pronunzia soltanto la particolare e netta delimitazione della regione oscura, ma altresì la condensazione che sta davanti ad essa, ed in modo affatto speciale la conformazione a vortice delle molte diramazioni e degli avvolgimenti della nebulosa, che vanno d'accordo colla direzione dell'immaginato movimento dell'intruso incognito agente.

Poichè non possiamo renderci indipendenti dalle nostre ristrette vedute terrestri, le quali d'altronde, come dobbiamo tante volte constatare, non possono sempre venir estese alle dimensioni dell'universo, mentre, in generale, l'eguaglianza delle leggi naturali attive fa sembrare permesse delle conclusioni d'analogia, così noi possiamo cercare di rappresentarci alcuni stadi della formazione del mondo coll'aspetto di una piccola nube di fumo di tabacco. Questa osservazione delle involute conformazioni del fumo del tabacco non è punto una distrazione da ozioso. Già il geniale Tyndall ha connesso coi movimenti delle nubi del fumo del tabacco delle profonde considerazioni sulle azioni della natura. Il fumo del tabacco, spesso senz'altra influenza che quella dei movimenti dell'aria, sempre presenti nella camera, produce delle conformazioni che ricordano nel modo più vivace le forme di certe nebulose, e segnatamente vi si osservano frequenti dei lenti movimenti a vortice. Questi possono anche venir svolti, introducendo in modo lentissimo un corpo estraneo quasi regolare nell'ammasso di fumo; tenendo lontana quanto si può ogni altra causa perturbatrice. Si vede allora prodursi delle forme affatto simili a quelle che ci mostra la nebulosa di Orione. Nel progresso delle nostre considerazioni sulla costituzione dell'universo, avremo occasione di vedere se in altri corpi o luoghi si trovino indizi di una tale penetrazione di un corpo cosmico in un altro, oppure dell'incontro od urto di due di essi.

Non dobbiamo allontanarci molto dalla nebulosa d'Orione per trovare un'altra forma di questa specie, che, come già avvertimmo, è possibilmente in connessione colla prima. Questo è anche reso probabile dall'immensa spirale di Barnard e Pickering, quale la descrivemmo sopra. Vogliamo parlare delle masse nebulari che in parte si trovano entro il gruppo delle Pleiadi, ed in parte lo circondano fino ad una distanza assai grande. Le Pleiadi stesse di per sè non appartengono naturalmente più a quella categoria di corpi celesti che stanno nel primo stadio del loro divenire, che noi al momento intendiamo studiare; esse sono già realmente stelle compite, colle linee di Fraunhofer nello spettro, che ha per tutte le stelle del gruppo, con poche eccezioni, il medesimo carattere. Da ciò segue che le stelle delle Pleiadi, le quali, per ragioni che vedremo diffusamente più avanti, debbono formare un gruppo fisicamente connesso, appartengono pur sempre al primo stadio della loro esistenza stellare. Già sappiamo che Tempel fu il primo che scoprì con un piccolissimo cannocchiale una estesa massa nebulosa nel gruppo, presso la stella Merope, e che l'esistenza di questa nebulosa di Merope fu molte volte contestata; oggi intorno ad essa non sussiste più alcun dubbio, giacchè ogni rilievo fotografico sufficientemente lungo, eseguito con un istrumento conveniente, la mostra. Molto rumore si fece a suo tempo, intorno ad un velo presso la stella Maja, scoperto dai fratelli Henry, ben noti fotografi del Cielo, sopra due loro lastre; velo

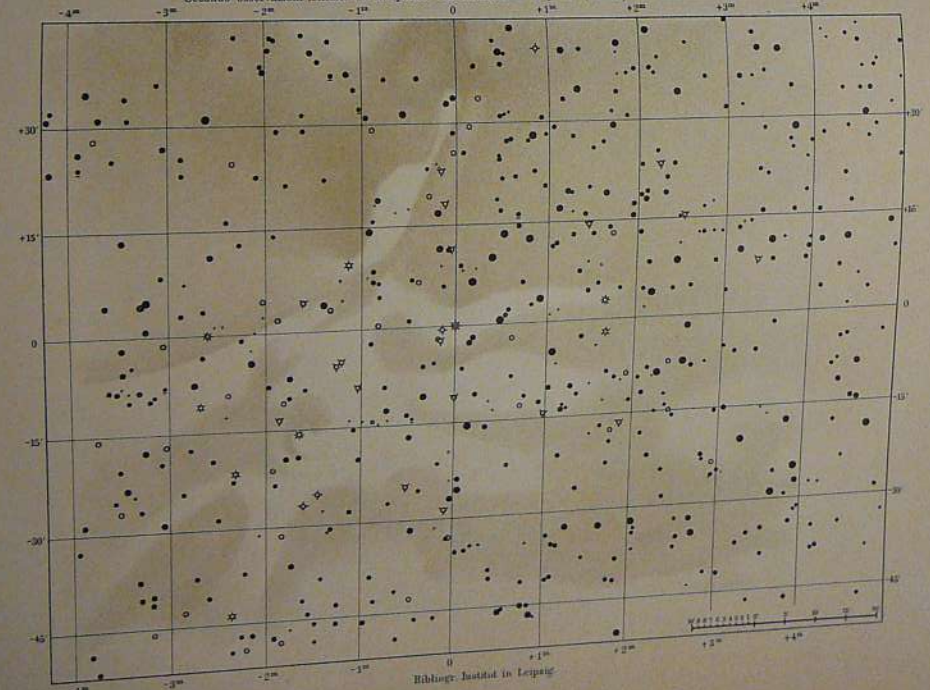
che non si poteva vedere coll'occhio in nessuno dei cannocchiali che essi avevano a disposizione, e che non poteva venir attribuito ad alcun difetto della lastra, tanto più perchè più tardi risultò che Pickering lo aveva già prima fissato sopra una lastra, il che però egli constatò con più attento esame solo dopo la scoperta dei fratelli Henry. Perciò si credette di aver a che fare con una di quelle nebulose che emettono raggi ultravioletti chimicamente attivi ed invisibili all'occhio; ma più tardi, senza ricorrere alla lastra fotografica, questa nebulosa fu di frequente veduta direttamente. (Vedi la Carta qui inserita). Giova qui avvertire che oggi va ognor più perdendo terreno l'opinione, che esistano forme di questa specie emettenti unicamente luce ultravioletta; almeno nella massima parte dei casi, le nebulose scoperte fino ad oggi fotograficamente furono anche riviste direttamente. Per contro è certo che alcuni di questi corpi celesti lasciano sulla lastra un'impressione molto più distinta di quello che non si potrebbe attendere dal loro aspetto nel cannocchiale.

Fig. 158. — Forme nebulari che circondano il gruppo delle Pleiadi. Secondo un rilievo fotografico di Barnard.

Mediante esposizioni alla luce di durata sempre più lunga, si scoprirono altre masse nebulari che attraversano le Pleiadi, questo bellissimo fra tutti i gruppi di stelle dell'emisfero settentrionale. Nel dicembre 1893 Barnard rilevò, in quel medesimo modo da noi descritto discorrendo della nebulosa di Orione, fotograficamente i dintorni delle Pleiadi, nel che fare egli prolungò la durata dell'esposizione fino a due notti. Nella notte del 6 dicembre egli tenne esposta una lastra durante 5 ore, avvolse quindi e coprì accuratamente l'istrumento per impedire la penetrazione di qualsiasi traccia di luce del giorno, ed il tempo essendo stato cattivo il 7 dicembre continuò l'esposizione nel giorno 8, per ben 5 ore ed $^1/_4$, in complesso quindi i deboli e pallidi bagliori luminosi provenienti da quella regione dell'universo, agirono durante 10 ore e 15 minuti sulla lastra sensibile che nella 20ma parte di un minuto secondo avrebbe potuto abbondantemente trattenere e fissare un paesaggio illuminato dal Sole. Sulla lastra si mostrò un velo lacerato a brandelli, che Barnard ha delineato nel disegno riprodotto nella figura 158. Il cerchio tracciato delimita la regione nella quale stanno le nebulose conosciute fino ad oggi. Si vede che anche questo gruppo di deboli nubi lucenti occupa una regione di

NEBULOSA NELLE PLEIADI.

Secondo osservazioni istituite da *R. Spitaler* col refrattore di 26 pollici (cm. 66) dell'Osservatorio di Vienna.



Bibliogr. Institut in Leipzig

circa 10° di diametro, e quindi non s'accosta punto in estensione alla grande nebulosa a spirale di Orione; però qui non si può, come in quella, scoprire un qualsiasi accenno di una configurazione geometrica. Poichè anche in questo caso è probabile una connessione tra le stelle ed il gruppo di nebulose, così non devesi respingere la congettura che questo complesso di nebulose non sia che l'ultimo avanzo di un mondo stellare già completamente condensato, e che quindi neppure

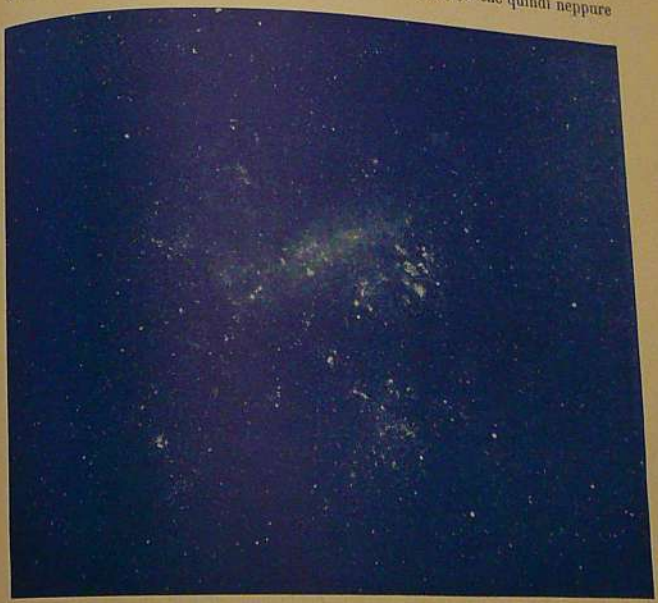


Fig. 159. — La grande Nube del Capo. Rilievo fotografico di Russell in Sydney.

questa nebulosa appartiene in modo alcuno a quei primitivi stadi di sviluppo, per i quali noi cercammo fin qui invano un rappresentante accertato, e che perciò noi non potremo mai trovare, giacchè le condizioni fisiche, sotto le quali si svolge questo primo processo di evoluzione, sono forse di natura tale, che noi non possiamo averne notizia di sorta, a mezzo di quel solo agente che ad esse ci unisce, la luce.

Mentre gli spazi della nebulosa d'Orione propriamente detta, sono ancora ripieni di materia nebulare relativamente densa, e da essa si sono sviluppate finora soltanto poche stelle, particolarmente quelle del Trapezio, la massa della nebulosa delle Pleiadi, con molte più stelle, è piccola. Questo rapporto delle stelle già completamente formate alla massa nebulare dà ancora ad esse stelle una preponderanza

notevole in un'altra notevole configurazione dell'emisfero celeste meridionale, cioè nelle *Nubi del Capo*, dette anche, dal loro primo scopritore europeo, *Nubi di Magellano*. Già raggnardevoli anche all'occhio nudo, esse fanno l'effetto di piccole nubi o meglio di pezzi staccati della Via Lattea che nelle latitudini australi appare notoriamente molto più lucida, che non attraverso all'atmosfera eternamente carica di vapori del settentrione. Ma siccome quelle nebulose si trovano alquanto distanti

Fig. 160. — La piccola Nube del Capo. Rilievo fotografico di Russell in Sydney.

dalla Via Lattea, così esse furono considerate come oggetti sussistenti affatto di per sè. (V. la Carta dell'emisfero celeste Sud, pagina 333). La grande nube del Capo riempie una regione di oltre 40 gradi quadrati, con uno splendore vivido e ripiena di ammassi stellari molto addensati con stelle di tutte le classi di grandezza dalla settima in giù, in una confusione grande di masse nebulari completamente irresolubili. John Herschel, che durante la sua dimora al Capo di Buona Speranza, cotanto fruttuosa per l'investigazione dell'emisfero celeste meridionale, esaminò profondamente questa splendente regione, vi ritrovò 278 nebulose ed ammassi stellari separati, ed oltre circa 600 stelle delle classi di grandezza settima, ottava e nona. In questi non sono compresi da 50 a 60 oggetti che si trovano nei pressi della nube. Russell in Sydney, nell'anno 1890, con esposizioni della durata di 7 ad 8 ore, ottenne dei belli fotogrammi delle due Nubi del Capo, che noi riproduciamo nelle figure 159 e 160. La fantasia più sbrigliata fallirebbe nel tentativo di scoprire una qualsiasi forma in quell'inestricabile confusione di mondi, fra i quali si presentano tutti gli stadi dell'evoluzione; tuttavia un così fatto aggruppamento di centinaia di migliaia di corpi celesti, quali risultano dalla numerazione di tutti gli ammassi stellari della grande Nube del Capo, non può essere fortuito, un vincolo comune deve legarli, e se noi potessimo

allargare sufficientemente le nostre cognizioni, vi si dovrebbero scoprire dei tratti comuni.

Abbandoniamo ora questa regione di imbrogliate agglomerazioni di corpi celesti, delle quali havvi in Cielo una grande quantità, e ritorniamo alle nebulose propriamente dette, semplici nella loro composizione fisica gasosa, delle quali già fu detto, nelle considerazioni generali, come fra esse se ne trovino essenzialmente di quelle a spirale e di quelle planetarie. Il più famoso rappresentante delle nebulose a spirale è la nebulosa nei Cani da Caccia (N. G. C. 5194, 5195. AR = $13^h\,24^m$, D = + 47° 9'). È squisitamente caratteristico il disegno che Vogel ne ha fatto col grande refrattore di Vienna. (V. tavola a pag. 383, fig. *a*; confrontisi anche tavola a pag. 380, fig. *f*). Qui si vede dipartirsi da un centro fortemente condensato a guisa di stella una spirale quasi regolare che a sua volta mostra in diversi luoghi delle condensazioni. Una delle più forti di queste tien dietro ad una stella che sta in mezzo alla spirale che davanti ad essa riluce assai debolmente; all'aspetto si direbbe che qui la stella ha aspirato la materia e l'ha accumulata dietro di sè a guisa di cometa. Questa coda descrive un semicerchio intiero, dapprima concentrico colla spirale interna, mentre a questa si accosta verso il suo estremo. È ancora ad esso parallelo un terzo giro, ed esattamente sotto questa configurazione sta una piccola nebulosa del pari concentrata nel mezzo a foggia di stella che da due parti lancia delle diramazioni verso la grande nebulosa, e che colla sua forma indica che anche questa condensazione appartiene ad un ramo ulteriore della spirale.

I giri della spirale denunziano chiaramente un movimento circolare di tutta la forma, e se ci facciamo a ricercare la causa di questo movimento, nasce facilmente il pensiero che noi possiamo trovarla nell'incontro dell'ultima condensazione menzionata colla maggiore massa nebulare. Tutti i corpi celesti hanno, come noi sappiamo, i loro movimenti propri speciali; ora se in conseguenza di essi un qualsiasi corpo celeste, nel passare, penetra anche solo superficialmente in una di quelle masse nebulari, ne segue per necessità fisica che le masse gasose si dispongano a spira, anche quando il corpo celeste quasi radendo e solcando la nebulosa se ne allontana di nuovo. Qui c'imbattiamo già in un secondo caso, nel quale, dalla forma celeste di un corpo cosmico, crediamo di poter dedurre l'incontro con un altro. Il primo caso era quello della nebulosa d'Orione. Noi potremo mettere questa congettura in relazione anche con altri fatti.

È molto notevole che la forma a spirale delle nebulose, che pure esige una determinata subordinazione a leggi, si presenti relativamente di frequente. Infatti, quanto più coi perfezionamenti dell'indagine fotografica noi penetriamo nelle particolarità di questi corpi celesti, tanto più di frequente si ripete il caso, che nebulose che prima erano classificate in un'altra classe, debbano venir annoverate fra le nebulose a spirale; la nebulosa d'Orione ci si presentò a tutta prima come una forma apparentemente affatto irregolare, nella quale poi solo poco per volta vennero delineandosi i rami della spirale. Oggidì però avviene non di rado il caso opposto, che cioè una forma ritenuta come in uno stadio molto avanzato di sviluppo, come ad esempio il disco di una nebulosa planetaria, arrotondato ed apparentemente condensato verso il centro, dopo un'azione di parecchie ore sulla lastra fotografica lascia emergere visibilmente la struttura a spirale. Si guardi da questo punto di vista la bella fotografia della nebulosa di Messier 74 nei Pesci, eseguita

da Isacco Roberts (V. fig. 161). Per vedere l'effetto che la nebulosa produceva nei cannocchiali, riguardati fino alla metà del nostro secolo come i migliori, si consideri l'immagine posta a 2 o 3 metri di distanza; i dettagli scompariranno allora così da non lasciar più sussistere che l'impressione di una vera nebulosa planetaria. Alla distanza della visione distinta, per contro, si ravvisano due rami di spirale incurvati in egual modo, che staccandosi dal nucleo centrale si spingono nello spazio.

Fig. 161. — La nebulosa 74 di Messier nei Pesci. Fotografata da Isacco Roberts.

Quando noi mettiamo a confronto le due immagini che si offrono al nostro occhio rispettivamente alle distanze di 2 o 3 metri e della visione distinta, di circa 25 cm., comprendiamo facilmente di quanto l'arte della fotografia celeste ci abbia accostati a quel meraviglioso oggetto.

Rammentiamo ora che tutte queste forme, ad un dipresso geometriche, si trovano nello spazio a tre dimensioni, e che senza dubbio sono del pari estese secondo tre direzioni, mentre noi non vediamo sempre che due dimensioni; deve quindi stupirci ancor di più che si siano scoperte tante nebulose a spirale, le cui spire giacciono intieramente o assai prossimamente in un piano che taglia normalmente la visuale. Poichè noi non sappiamo ancora nulla di certo intorno alla terza dimensione di cotali forme nello spazio, così l'aspetto delle spirali indipendenti rende almeno probabile che esse abbiano generalmente una forma piatta. Se queste spirali si spingessero colle loro spire nello spazio e lungo la visuale, verso di noi od allontanandosi da noi molto, relativamente al loro diametro apparente, le spire dovrebbero proiettarsi evidentemente d'assai l'una sull'altra, col che il carattere di spirale andrebbe per lo più perduto per il nostro occhio. È possibile che nello spazio si trovino di simili forme a foggia di vite, ed anzi la nebulosa del Dragone, già nominata a pag. 346, colla sua forma a doppio anello sembra darne qualche accenno. Ma appunto a motivo della difficoltà sopra indicata la loro forma a spire non viene per lo più scoperta.

Pertanto se le nebulose a spirale sono all'ingrosso ed in complesso di forma piatta, e se la posizione del loro piano di massima estensione non ha nello spazio cosmico alcuna direzione preferita, per il che non si saprebbe trovare alcuna ragione, noi dobbiamo vedere di costa almeno tante nebulose di questa specie, quante ne vediamo di piatto. Quindi esse particolarmente nella loro conformazione normale mostreranno all'incirca la forma di una lente schiacciata, i giri della spirale scompariranno, nel mezzo della lente emergerà più lucida una condensazione

rotonda che d'ordinario si trova nel centro della spirale, e forse anche più verso il lembo della lente si vedranno qua e colà delle condensazioni minori, quali si osservano nelle spirali aperte visibili. Con ciò siamo condotti alle nebulose ellittiche, quali quella che Roberts ha fotografato nella nebulosa 65 di Messier, nel Leone (V. fig. 162). Essa fa qui precisamente la stessa impressione che produce nei cannocchiali di modeste dimensioni il più famoso oggetto di questa natura, la grande nebulosa d'Andromeda.

Fig. 162. — Nebulosa 65 di Messier. Fotografata da Isacco Roberts.

La nebulosa d'Andromeda si vede molto bene anche ad occhio nudo; la si trova molto facilmente quando nelle notti invernali il lucente W di Cassiopea sta molto in alto in cielo. I rami a zig-zag di questo W sono disuguali, un tratto alquanto più schiacciato dell'altro; se ora si congiunge colla stella polare la stella che sta al vertice più basso, e che quindi fra le cinque stelle è la più lontana dal polo, si ottiene una retta che prolungata verso Sud, incontra la nebulosa quasi esattamente ad una distanza che è uguale alla metà di quella che intercede fra la stella di Cassiopea e la stella polare. La nebulosa fu per la prima volta veduta col cannocchiale da Simon Mario nel 1612; questo astronomo descrive in modo caratteristico la sua impressione, paragonandola ad una fiamma di candela vista attraverso ad una lamina di corno. In tal guisa oggi ancora si presenta la nebulosa d'Andromeda in un usuale binoccolo da teatro. Nei telescopi di mezzana grandezza emerge sempre una condensazione rotonda centrale, però a contorni alquanto diffusi. Nei grandi strumenti la nebulosa e le sue vicinanze immediate lasciano vedere il luccicare di innumerevoli piccole stelle, le quali però probabilmente soltanto in minima parte stanno in intima relazione colla nebulosa, che si dimostra propriamente tale, irresolvibile con uno spettro a linee lucide. Col grande refrattore di Washington, Trouvelot vide primieramente due canali oscuri che attraversavano la nebulosa ellittica nella direzione della lunghezza, divergendo alquanto; la rappresentazione che ne fece Trouvelot è riprodotta nella figura 163. Per lungo tempo non si seppe che cosa pensare di questi strani canali, e come avviene d'ordinario con oggetti che non si sanno spiegare, anche qui si dubitò generalmente della loro esistenza, fino a pochi anni or sono, quando Roberts, fotografo del Cielo, già parecchie volte nominato, ebbe la pazienza di fotografare la nebulosa con un'esposizione di parecchie ore, e così sciolse senz'altro l'enigma.

Nella figura 164 è data una nuova fotografia, dovuta a Barnard, della meravigliosa configurazione, assieme alla cometa di Barnard, che all'epoca della sua scoperta si trovava nelle vicinanze di essa. I due canali al disopra della condensazione centrale si distinguono chiaramente, ma anche al disotto di essa si possono riconoscere nella materia lucente simili linee oscure, e a destra ed a sinistra, i due sistemi di linee si chiudono in ellissi più o meno distinte; in breve, non si può disconoscere che qui ci sta innanzi una nebulosa a spirale di struttura affatto simile a quella degli oggetti prima descritti, che noi vediamo normalmente, mentre vediamo la nebulosa d'Andromeda molto obliquamente in iscorcio. L'analogia colla nebulosa a spirale nei Cani da Caccia è tanta, che anche nella nebulosa d'Andromeda si trova una condensazione, che Trouvelot disegnò ancora dentro all'ambito nebulare. Le ramificazioni di questa condensazione accennano pure qui chiaramente alla massa centrale, e non è dubbio che una stretta relazione esista fra i due oggetti.

Fig. 163. — Nebulosa d'Andromeda, secondo un disegno di Trouvelot.

La nebulosa a spirale dei Cani da Caccia e la nebulosa d'Andromeda rappresentano in certo qual modo dei casi estremi, fra i quali devono stare numerose posizioni intermedie per rispetto alla direzione della nostra visuale al Cielo, dato che le nostre presupposizioni siano giuste. Queste posizioni intermedie devono essere notevolmente più numerose e varie delle nebulose a spirale od ellittiche descritte, poichè tra l'orizzonte e lo zenit stanno infiniti angoli d'inclinazione, sotto i quali noi possiamo vedere quelle nebulose a spirale. Holden ha, per questo riguardo, istituite delle interessanti esperienze con un pezzettino di filo, al quale egli dopo molti tentativi diede una certa forma a spirale. Holden diede a

questa spirale di filo (o meglio elica, come si chiamano tecnicamente le spirali che derivano da una superficie a vite) diverse posizioni rispetto ad una superficie bianca, sulla quale ne riceveva l'ombra proiettata, e la fotografava; ne risultarono

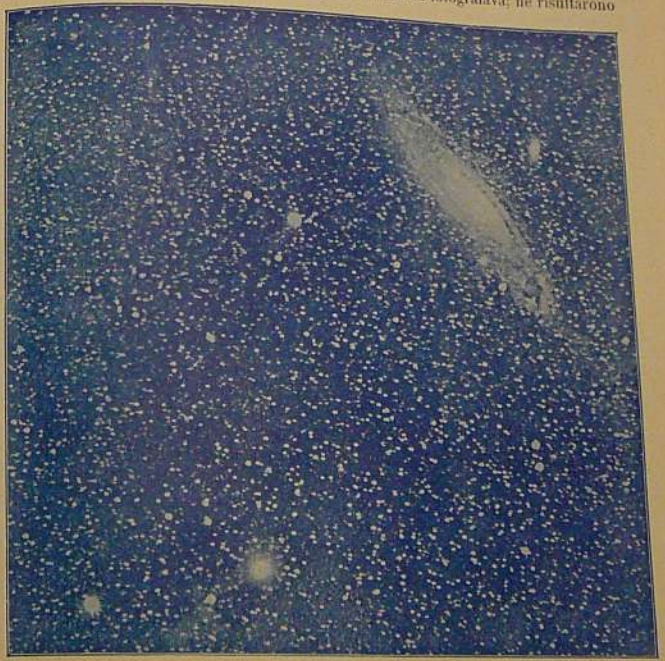


Fig. 164. — La nebulosa d'Andromeda colla cometa di Holmes. Fotografata da C. C. Barnard all'Osservatorio Lick. (Durata dell'esposizione, ore 3).

così le numerose immagini riprodotte nella figura 165. Su queste basi si possono costrurre quasi tutte le forme di nebulose che non appartengono a quelle intieramente irregolari; si aggiungono per confronto parecchi disegni di nebulose eseguiti da Lassell (V. tavola a pagina seguente). Per molte naturalmente non bastò una sola spirale, ma non occorse anche mai di dover applicare differenti proiezioni di questa spirale tipica; i diversi rami della nebulosa si raggruppavano, almeno approssimativamente, intorno ad una medesima superficie fondamentale. Noi abbiamo innanzi a noi le forme più diverse, le quali, per lo meno, non rammentano più il carattere di una spirale, e che quindi in base a queste considerazioni noi dob-

biamo in parte spiegare come spirali a tre dimensioni, la posizione delle quali è per noi troppo sfavorevole perchè possiamo riconoscerne la vera forma.

D'altra parte noi incontriamo in Cielo le più belle ed indubitabili forme di transizione, come quella, ad esempio, che ci presenta la nebulosa N. G. C. 2905. Il disegno dato nella figura *d* della tavola a pagina 383, fu eseguito col grande refrattore di Vienna. Qui abbiamo manifestamente innanzi a noi una spirale molto regolare, che noi vediamo sotto un angolo di qualche cosa più di 45°. Noi potremmo qui addurre una quantità di simili forme, e la grande nebulosa d'Andromeda stessa appartiene senza dubbio a queste forme di transizione, il cui piano principale non giace per nulla nella nostra visuale, altrimenti noi non vedremmo quei canali. Sono già molto più estreme le forme delle nebulose N. G. C. 4565 e delle nebulose doppie 4627 e 4631, entrambe disegnate col refrattore di Vienna nel modo indicato. (V. tavola: *Nebulose di differenti forme*, fig. c ed *e*, a pag. 383). Malgrado la loro straordinaria sottigliezza si possono ancora ravvisare in esse gl'incavi dei canali. Nella prima l'incavo è esattamente parallelo all'asse maggiore, nell'altra delle linee oscure attraversano la nebulosa in tale modo, che per ciò almeno si presenta la spirale; anche qui è di nuovo molto notevole che una nebulosa rotonda accompagna la spirale. L'aspetto di queste forme molto sottili, le particolarità delle quali mostrano che anche con esse non vediamo il fianco della forma lenticolare, deve di necessità condurre alla conclusione che queste forme sono molto esili, all'incirca sottili quanto gli anelli di Saturno. Questi ultimi, come si sa, scompaiono completamente quando il loro piano viene a passare esattamente per la nostra visuale. Per lo stesso motivo rimarranno a noi invisibili molte forme di nebulose che si trovano assai prossimamente in questa posizione estrema.

Fig. 165. — Diverse proiezioni di un filo a spirale. Secondo Holden.

Fra le tante nebulose che non si presentano immediatamente come nebulose a spirale, ma che stante le precedenti considerazioni devono essere considerate come appartenenti a questa estesissima classe, va annoverato anche un notevole oggetto che si trova nella costellazione detta lo Scudo di Sobiescki, una piccola costellazione situata nella Via Lattea a settentrione del Sagittario (AR $= 18^h\,13^m$, D $= 16°{,}2$), in causa della sua curiosa forma che rammenta i tratti della lettera greca Ω, quell'oggetto fu denominato la *nebulosa ad omega* (V. qui unita tavola: *Disegni di nebulose a spirale*, fig. *d*). Quando si riuniscano due forme delle figure 12 o 31 di Holden si ottiene abbastanza esattamente quella forma.

Una classe, in un certo senso, estrema delle nebulose a spirale è costituita dalle nebulose ad anello, fra le quali quella che si trova nella Lira è la più ragguardevole e la più nota. Essa sta al limite della Via Lattea alquanto sotto Vega, fra le stelle β e γ della costellazione, ed è un anello ellittico affatto regolare, così che a cagione di questa regolarità si deve ammettere che in realtà questo meraviglioso

Disegni di nebulose a spirale secondo Lassell (Tav. I)

a) N. G. C. 1068.
b) N. G. C. 2359.
c) N. G. C. 3623.
d) Nebulosa-Omega, N. G. C. 6618.
e) N. G. C. 2903.
f) Nebulosa a spirale nei Cani da caccia. N. G. C. 5194 e 5195.
g) N. G. C. 4254.
h) N. G. C. 5236.
i) N. G. C. 5247.

biamo in parte spiegare come spirali a tre dimensioni, la posizione delle quali è per noi troppo sfavorevole perchè possiamo riconoscerne la vera forma.

D'altra parte noi incontriamo in Cielo le più belle ed indubitabili forme di transizione, come quella, ad esempio, che ci presenta la nebulosa N. G. C. 2905. Il disegno dato nella figura *d* della tavola a pagina 383, fu eseguito col grande refrattore di Vienna. Qui abbiamo manifestamente innanzi a noi una spirale molto regolare, che noi vediamo sotto un angolo di qualche cosa più di 45°. Noi potremmo qui addurre una quantità di simili forme, e la grande nebulosa d'Andromeda stessa appartiene senza dubbio a queste forme di transizione, il cui piano principale non giace per nulla nella nostra visuale, altrimenti noi non vedremmo quei canali. Sono già molto più estreme le forme delle nebulose N. G. C. 4565 e delle nebulose doppie 4627 e 4631, entrambe disegnate col refrattore di Vienna nel modo indicato. (V. tavola: *Nebulose di differenti forme*, fig. c ed *e*, a pag. 383). Malgrado la loro straordinaria sottigliezza si possono ancora ravvisare in esse gl'incavi dei canali. Nella prima l'incavo è esattamente parallelo all'asse maggiore, nell'altra delle linee oscure attraversano la nebulosa in tale modo, che per ciò almeno si presenta la spirale; anche qui è di nuovo molto notevole che una nebulosa rotonda accompagna la spirale. L'aspetto di queste forme molto sottili, le particolarità delle quali mostrano che anche con esse non vediamo il fianco della forma lenticolare, deve di necessità condurre alla conclusione che queste forme sono molto esili, all'incirca sottili quanto gli anelli di Saturno. Questi ultimi, come si sa, scompaiono completamente quando il loro piano viene a passare esattamente per la nostra visuale. Per lo stesso motivo rimarranno a noi invisibili molte forme di nebulose che si trovano assai prossimamente in questa posizione estrema.

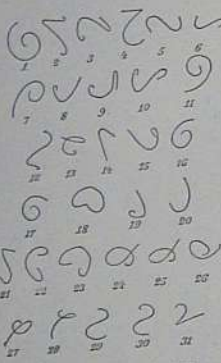


Fig. 165. — Diverse proiezioni di un filo a spirale. Secondo Holden.

Fra le tante nebulose che non si presentano immediatamente come nebulose a spirale, ma che stante le precedenti considerazioni devono essere considerate come appartenenti a questa estesissima classe, va annoverato anche un notevole oggetto che si trova nella costellazione detta lo Scudo di Sobiescki, una piccola costellazione situata nella Via Lattea a settentrione del Sagittario ($AR = 18^h\,13^m$, $D = 16°{,}2$). in causa della sua curiosa forma che rammenta i tratti della lettera greca Ω, quell'oggetto fu denominato la *nebulosa ad omega* (V. qui unita tavola: *Disegni di nebulose a spirale*, fig. *d*). Quando si riuniscano due forme delle figure 12 o 31 di Holden si ottiene abbastanza esattamente quella forma.

Una classe, in un certo senso, estrema delle nebulose a spirale è costituita dalle nebulose ad anello, fra le quali quella che si trova nella Lira è la più ragguardevole e la più nota. Essa sta al limite della Via Lattea alquanto sotto Vega, fra le stelle β e γ della costellazione, ed è un anello ellittico affatto regolare, così che a cagione di questa regolarità si deve ammettere che in realtà questo meraviglioso

DISEGNI DI NEBULOSE A SPIRALE, SECONDO LASSELL

corpo celeste è circolarmente tondo, e che ci appare solo per proiezione in iscorcio fortemente ellittico. La nostra figura 166 lo mostra secondo il disegno di Trouvelot; il diametro maggiore di questa ellisse è, secondo Secchi, di 72″,2, il minore di 60″,4. L'anello che già nei cannocchiali di mezza grandezza appare nettamente tale e splendente, mostra anche nei migliori istrumenti una distribuzione affatto regolare di luce; solo l'intensità cresce gradatamente da un estremo del grande asse all'altro. Da quest'ultima parte si scorge un'appendice che va poco per volta perdendosi nello spazio; ad ogni modo non si notano nell'oggetto grandi nodi di luce, ramificazioni o canali, i quali lascino congetturare che con mezzi ottici ancora più potenti di quelli che noi attualmente possediamo, si possa constatare la trasformazione di una forma anulare così meravigliosamente regolare in una spirale.

Fig. 166. — La nebulosa ad anello nella Lira, secondo un disegno di Trouvelot.

Ciò è molto notevole e fa dubitare che le nebulose perfettamente annulari, estremamente rare (secondo Secchi non ve ne sono che quattro), appartengano in modo generale agli stadi di evoluzione delle nebulose a spirale. Ma anche prima che lo spettroscopio venisse rivolto ad esse, la risposta alla questione parve trovata, giacchè fin dal 1779 Messier suppose delle stelle nella nebulosa della Lira, scoperta da D'Arquier a Tolosa, e Rosse al pari di Bond riuscì a risolverla in innumerevoli punticini luminosi. Si credette di avere dinanzi in questo caso un'altra lontana Via Lattea, la cui pallida luce per noi non più intieramente uniforme avvolga in forma d'anello il nostro cielo. Ma lo spettroscopio rese questo paragone insostenibile, giacchè esso attesta chiaramente che la nebulosa è una massa di gas, dalla quale non si è ancora staccata nessuna stella

propriamente detta. I puntiçini luminosi quindi veduti nel cannocchiale non possono derivare che da condensazioni di gas.

Come si può ora chiarire questa *fuga* delle masse gasose dal centro dell'anello, intieramente, o quasi, oscuro? In tutte le altre masse nebulari si vede a primo colpo d'occhio che esse tendono all'opposto a condensarsi verso il loro centro. Quando, nella Sezione Seconda del presente Trattato, ci occuperemo delle leggi della gravitazione, noi scopriremo ovunque nel Cielo una completa uniformità della sua azione; essa ha per conseguenza naturale la condensazione della materia verso il centro. Già si è pensato agli effetti di vortici, simili a quelli che producono gli anelli del fumo del tabacco, coi quali questa nebulosa anulare ha la più grande rassomiglianza. È noto che le particelle di tali anelli di fumo di tabacco ruotano attorno alla linea circolare media dell'anello, di guisa che le parti, le quali pur ora appartenevano ancora al fianco interno, girano verso l'esterno per ritornare quindi verso l'interno e così di seguito. Solamente in questo modo l'anello di fumo di tabacco può ritenere durante qualche tempo la sua forma. Se ora immaginiamo che una massa nebulare di forma ad un dipresso sferica, venga attraversata verso il centro da una sfera solida alquanto più piccola, si potranno originare di simili vortici. Un simile incontro è però altamente improbabile.

Di recente però questo curioso problema fu, a mezzo ancora della fotografia, avvicinato ad una chiara soluzione. Nei migliori cannocchiali dei nostri giorni si era già visto tralucere quasi nel centro dell'ellisse dell'anello una stellina molto debole; quando poi padre Denza, che era direttore dell'Osservatorio Vaticano, e Scheiner in Potsdam ottennero una fotografia della nebulosa, notarono, con meraviglia, che questo piccolo puntino luminoso, che anche coll'aiuto dei nostri più potenti cannocchiali produce sulla retina del nostro occhio un'impressione appena avvertibile, era sulla lastra fotografica divenuto una nebulosa estesa, la cui azione attinica si manifestava assai più energicamente di quella dell'anello medesimo. La parte centrale oscura interna dell'anello è quindi in parte riempita da una materia che emette principalmente raggi ultravioletti. Nulla pertanto ci vieta di supporre di avere qui davanti a noi una nebulosa planetaria regolare, le cui regioni interne, conformemente alle leggi fisiche, sono più dense delle esterne, mentre però soltanto queste ultime ci inviano della luce che agisce sull'occhio umano. Poichè, come già fu accennato più avanti, nelle nebulose generalmente e molto probabilmente noi non abbiamo uno stato d'incandescenza innanzi a noi, ma bensì uno splendore senza azione calorifica, così si può ben pensare che le masse interne e dense di un globo gasoso non concedano più ai loro atomi una libertà sufficiente per produrre questa fosforescenza, mentre nelle regioni esterne le condizioni sono ancora tali da consentirla.

Lo scindersi dell'anello in un grande numero di nodi di luce, è d'altronde confermato fotograficamente. Denza, coll'aiuto del microscopio, ne contò sulla sua fotografia almeno 830. In questa nebulosa pertanto noi c'imbattiamo in una forma di trapasso agli ammassi stellari regolarmente conformati e quasi sferici, alcuni dei quali presto conosceremo più da vicino.

La sorprendente soluzione trovata per il problema della nebulosa anulare della Lira, eccita e spinge a strane considerazioni. La forma della nebulosa, quale noi la vediamo, non può più rivelare la vera figura della materia che colà riempie

Nebulose di differenti forme (Tav. II)

a) Nebulosa a spirale nei Cani da caccia (G. C. 3572, 74), disegnata da H. C. Vogel.
b) Nebulosa a manubrio (N. G. C. 4532), disegnata da H. C. Vogel.
c) Nebulosa a forma lenticolare con canale (N. G. C. 4565), secondo R. Spitaler.
d) Nebulosa a spirale (N. G. C. 2903 e 2905), secondo R. Spitaler.
e) Nebulosa lenticolare e contorta a spirale, con un compagno rotondo (N. G. C. 4627 e 4631), secondo R. Spitaler.
f) Nebulosa di natura cometica (N. G. C. 2261), secondo R. Spitaler.
g) Nebulosa rotonda con esternamente una stella che l'accompagna (N. G. C. 2695), secondo R. Spitaler.
h) Nebulosa centrale con una stella centrale (N. G. C. 1514), secondo R. Spitaler.
i) Nebulosa a granchio sul Toro (N. G. C. 1852), secondo A. Secchi.

(*a* fino ad *h* furono disegnate al grande refrattore di Vienna).

NEBULOSE DI DIFFERENTI

propriamente detta. I punticini luminosi quindi veduti nel cannocchiale non possono derivare che da condensazioni di gas.

Come si può ora chiarire questa *fuga* delle masse gasose dal centro dell'anello, intieramente, o quasi, oscuro? In tutte le altre masse nebulari si vede a primo colpo d'occhio che esse tendono all'opposto a condensarsi verso il loro centro. Quando, nella Sezione Seconda del presente Trattato, ci occuperemo delle leggi della gravitazione, noi scopriremo ovunque nel Cielo una completa uniformità della sua azione; essa ha per conseguenza naturale la condensazione della materia verso il centro. Già si è pensato agli effetti di vortici, simili a quelli che producono gli anelli del fumo del tabacco, coi quali questa nebulosa anulare ha la più grande rassomiglianza. È noto che le particelle di tali anelli di fumo di tabacco ruotano attorno alla linea circolare media dell'anello, di guisa che le parti, le quali pur ora appartenevano ancora al fianco interno, girano verso l'esterno per ritornare quindi verso l'interno e così di seguito. Solamente in questo modo l'anello di fumo di tabacco può ritenere durante qualche tempo la sua forma. Se ora immaginiamo che una massa nebulare di forma ad un dipresso sferica, venga attraversata verso il centro da una sfera solida alquanto più piccola, si potranno originare di simili vortici. Un simile incontro è però altamente improbabile.

Di recente però questo curioso problema fu, a mezzo ancora della fotografia, avvicinato ad una chiara soluzione. Nei migliori cannocchiali dei nostri giorni si era già visto tralucere quasi nel centro dell'ellisse dell'anello una stellina molto debole; quando poi padre Denza, che era direttore dell'Osservatorio Vaticano, e Scheiner in Potsdam ottennero una fotografia della nebulosa, notarono, con meraviglia, che questo piccolo puntino luminoso, che anche coll'aiuto dei nostri più potenti cannocchiali produce sulla retina del nostro occhio un'impressione appena avvertibile, era sulla lastra fotografica divenuto una nebulosa estesa, la cui azione attinica si manifestava assai più energicamente di quella dell'anello medesimo. La parte centrale oscura interna dell'anello è quindi in parte riempita da una materia che emette principalmente raggi ultravioletti. Nulla pertanto ci vieta di supporre di avere qui davanti a noi una nebulosa planetaria regolare, le cui regioni interne, conformemente alle leggi fisiche, sono più dense delle esterne, mentre però soltanto queste ultime ci inviano della luce che agisce sull'occhio umano. Poichè, come già fu accennato più avanti, nelle nebulose generalmente e molto probabilmente noi non abbiamo uno stato d'incandescenza innanzi a noi, ma bensì uno splendore senza azione calorifica, così si può ben pensare che le masse interne e dense di un globo gasoso non concedano più ai loro atomi una libertà sufficiente per produrre questa fosforescenza, mentre nelle regioni esterne le condizioni sono ancora tali da consentirla.

Lo scindersi dell'anello in un grande numero di nodi di luce, è d'altronde confermato fotograficamente. Denza, coll'aiuto del microscopio, ne contò sulla sua fotografia almeno 830. In questa nebulosa pertanto noi c'imbattiamo in una forma di trapasso agli ammassi stellari regolarmente conformati e quasi sferici, alcuni dei quali presto conosceremo più da vicino.

La sorprendente soluzione trovata per il problema della nebulosa anulare della Lira, eccita e spinge a strane considerazioni. La forma della nebulosa, quale noi la vediamo, non può più rivelare la vera figura della materia che colà riempie

NEBULOSE DI DIFFERENTI FORME

lo spazio. Finora naturalmente fummo guidati dal concetto che ove in una figura di nebulosa si mostra la luce più vivida, là deve trovarsi anche la maggiore condensazione della materia. Sembra infatti che in realtà tale sia il caso più generale, giacchè noi vediamo la massima parte delle nebulose condensate verso il loro centro, ove per necessità fisica la condensazione deve avvenire. Nelle nebulose più complicate, quelle a spirale ad esempio, la struttura apparente può assai facilmente essere causata unicamente od in massima parte da una varia ripartizione della materia fosforescente più leggera. Ad ogni modo però le nostre congetture sull'andamento dell'evoluzione di queste forme reggono ancora, giacchè una tale ripartizione di una data specie di materia può essere pensata soltanto sotto condizioni sempre le stesse, le quali avrebbero sole provocato, senza la presenza di materia non luminosa interposta, la distribuzione dei rami luminosi.

Fig. 167.
Ammasso stellare nell'Acquario.

Una nebulosa molto notevole è quella denominata *nebulosa Dumbbell*, ossia nebulosa a manubrio; essa forse trova la sua spiegazione in modo simile a quello della nebulosa anulare. Questa nebulosa, che è un oggetto relativamente facile a vedersi, sta nella Volpe: $AR = 19^h\ 54^m$; $D = +\ 22°{,}4$. I suoi contorni esterni hanno una forma debolmente ellittica, ma a differenza della massima parte delle nebulose simili, non presenta alcuna condensazione che vada accentuandosi verso il centro, ed il più curioso in essa, sono le due grandi regioni più oscure quasi circolari, e che potrebbero venir considerate come le sfere del manubrio. Il tutto si potrebbe forse meglio paragonare ad un uovo con doppio tuorlo. Vogel ha tracciato un bel disegno di questo corpo celeste a mezzo del grande refrattore di Vienna; disegno qui riprodotto nella figura *b* della tavola: *Nebulose di differenti forme*. Forse anche queste parti più oscure sono costituite da sostanze che senza essere più povere di materia possono produrre meno luce.

Le forme di nebulose, che noi venimmo l'una dopo l'altra esaminando, si sono venute accostando ognora più alla forma regolare di quelle planetarie. Dobbiamo saltare a piè pari parecchie forme intermedie, e solo menzioniamo ancora di passaggio una rara forma che si presenta occasionalmente, e che in modo notevole richiama alla memoria una cometa; sulla punta della coda curva della cometa, una stella ne rappresenta il nucleo. (V. la rappresentazione della nebulosa N. G. C. 2261 nella figura *f* della qui unita tavola). Si dànno parecchie varietà di questa forma, ma sempre una stella sta sulla punta della coda, così che non può nascere alcuna accidentale confusione.

Anche le nebulose puramente planetarie presentano le più svariate gradazioni. Esse sono abbastanza frequenti: il loro numero però in confronto a quello delle nebulose ellittiche od anche di quelle a spirale, il cui piano principale è disposto quasi normalmente alla visuale, è troppo più grande di quello che si potrebbe supporre, se si avesse anche qui a fare con corpi relativamente piatti, che in complesso potessero mostrarsi nella posizione più favorevole. Le nebulose planetarie

debbono essere corpi sferici che in ogni posizione si proiettano come dischi. La condensazione di questi dischi verso il loro centro si presenta in tutti i gradi immaginabili. Alcune nebulose, e precisamente le più rare, sono illuminate in modo affatto uniforme, e spesso così nettamente delimitate che le si potrebbero scambiare coi dischi di Urano e di Nettuno; anche il loro diametro si mantiene nei limiti corrispondenti. In altre si avverte una condensazione progressiva ed i contorni sono d'ordinario alquanto più diffusi. In altre nebulose ancora la condensazione assume finalmente un carattere stellare, e per ultimo si dànno nebulose che hanno nel loro centro una stella realmente formata. In alcune di queste l'avvolgimento nebulare è così debole da essere appena avvertibile; abbiamo allora davanti a noi una nebulosa stellare, quali già ebbimo occasione di menzionarne. Ma nel loro interno non si trova sempre soltanto una stella; in un caso una nebulosa di questa classe, di contorno alquanto ellittico, mostra due stelle che stanno esattamente nei due fuochi dell'ellisse. Un'altra ne lascia vedere tre, che sembrano formare un triangolo esattamente equilatero. In molte altre poi tutto il disco è cosparso di un gran numero di stelle. Il caso estremo di condensazione di nebulose planetarie è quello delle nebulose planetarie di Pickering, delle quali già tenemmo discorso.

Fig. 168. — Ammasso stellare nella Bilancia.

Le nebulose planetarie con parecchi nuclei ci conducono direttamente agli ammassi o coacervazioni stellari propriamente detti. Molte di così fatte forme, che altra volta si dovevano annoverare fra le nebulose planetarie, col perfezionarsi dei nostri apparecchi di visione si diedero a divedere quali agglomerazioni enormemente fitte di stelle. La loro luce unita, esaminata collo spettroscopio, dimostrò, all'opposto dei nodi luminosi d'indole stellare in molte nebulose, ad esempio in quelle della Lira, di provenire realmente da stelle che non lasciano scorgere traccia alcuna di materia gasosa interposta fra esse. Un cosifatto denso ammasso stellare di forma affatto rotonda si trova nell'Acquario (AR $21^h\,28^m$, $D = -1°{,}3$, vedi fig. 167); la sua magnifica apparenza fu paragonata a quella di un mucchio di sabbia d'oro. Questo ammasso stellare ha circa un minuto e mezzo di diametro, e consta di stelle piccolissime, più dense nel mezzo che al lembo, senza però manifestare una brusca condensazione a guisa di nucleo. Altri ammassi stellari mostrano per contro verso il loro mezzo una condensazione decisa. Fra questi è da noverarsi il bell'ammasso nella Bilancia (AR $15^h\,14^m$, $D = +2°{,}5$, vedi fig. 168). Un magnifico oggetto di questa natura si trova sull'emisfero celeste meridionale nella costellazione del Centauro.

Nello splendido ammasso stellare della costellazione di Ercole (AR $16^h\,37^m$, $D = +36°{,}7$), che sembra una manata di diamanti lanciata nello spazio, si raggruppano parecchie migliaia di stelle molto meno addensate, ognora più scostandosi dalla forma sferica. Scheiner, il 9 settembre 1891, eseguì di esso un'eccellente

fotografia con un'esposizione durata due ore, e sottopose quindi la lastra ad una attenta disamina e misura col microscopio. La figura 169 riproduce il risultato di questa misura, riferita ad un reticolato; sopra questa figura si trovano 823 stelle appartenenti alle classi 12ª, 13ª, 14ª. In realtà poi il tutto è ancora compenetrato di materia luminosa, dalla quale talvolta, in circostanze favorevoli, traluce un grandissimo numero di stelle piccolissime. È però sempre ancora riconoscibile una

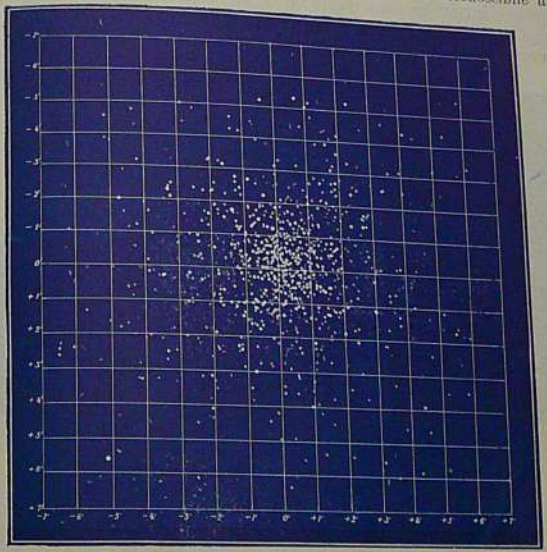


Fig. 169. — Ammasso stellare in Ercole, secondo Scheiner.

condensazione del tutto verso il mezzo, ma partendo da questo le stelle si distaccano molto fra loro, diminuendo rapidamente in numero, e guardando ben attentamente si riconosce distintamente uno speciale raggruppamento quasi radiale, così che una distribuzione artificiale della luce di queste stelle sullo spazio da esse occupato, darebbe origine ad una figura che non sarebbe dissimile da una nebulosa a spirale con numerosi rami. Sul terzo disegno (fig. 170) di questo ammasso stellare stesso si possono riconoscere ben distintamente le diramazioni incurvate a spirale. Questi disegni dimostrano anche come un medesimo oggetto possa essere molto differentemente percepito da osservatori diversi. La " forma a catena " e la disposizione delle stelle quasi come le perle di una collana, che ivi appare chiarissima, si presenta anche molte volte in altri ammassi stellari e segnatamente nella Via Lattea.

Altri ammassi stellari lasciano riconoscere queste diramazioni ancora più distintamente, così ad esempio la *Crab nebula*, nebulosa detta *a granchio* nel Toro (AR $5^h\,27^m$, D $+21°{,}9$). Negli strumenti anteriori al grande riflettore di Herschel, questo ammasso appariva ancora del tutto quale nebulosa, senza qualsiasi traccia di stelle. Le diramazioni che la fanno apparire come un granchio o insetto furono per la prima volta viste distintamente da Rosse. Tutto l'aspetto di questa configurazione è molto simile a quello di una nebulosa a spirale irregolare e molto complicata, mentre essa è una fitta agglomerazione di stelle. Se noi poniamo a confronto le condensazioni di natura stellare delle vere nebulose, con questi ammassi stellari di natura nebulare, dei quali si riscontrano ancora numerosissime forme affini, nasce spontaneamente l'idea che gli ammassi stellari si siano generati dalle nebulose colla formazione di nodi di luce, e loro graduale condensazione in stelle.

Fig. 170. — Ammasso stellare in Ercole: 1) secondo Lord Rosse; 2) secondo J. Herschel; 3) secondo Secchi.

Una serie di tutte le gradazioni o stati intermedi ci conduce dagli ammassi stellari fin qui considerati, che stanno o intieramente o parzialmente al limite della risolubilità, a gruppi di ammassi stellari senza connessione di sorta, dei quali ne riscontrammo già uno nelle Pleiadi; ed in questi raggruppamenti di coacervazioni stellari ritroviamo quasi tutte le forme già notate nelle nebulose vere. Andremmo troppo per le lunghe se volessimo esporre e descrivere partitamente tutte queste forme. Menzioniamo solo, quale una di quelle che s'incontrano ripetutamente un esteso ammasso nei Gemelli (AR $6^h\,49^m$, D $+18°{,}1$): come appare dalla figura 171 esso è distintamente conformato a ventaglio, ed ha alla sua punta alcune stelle molto lucide. Si ravvisa in esso una copia esatta della nebulosa di natura cometaria già accennata: solo qui tutto è nel modo più distinto risolto in stelle. Così si presentano pure ammassi stellari ellittici e di forma ad un dipresso anulare.

Sono degni ancora di particolare menzione gli ammassi stellari doppi che corrispondono alle nebulose doppie. Il più bello fra questi oggetti, sebbene già molto disperso, è l'ammasso stellare in Perseo (vedi fig. 172), uno degli oggetti più interessanti per deboli strumenti. Per godere a pieno della sua bellezza bisogna

poter abbracciare collo sguardo l'intiero ammasso stellare. La posizione del gruppo principale è AR $2^h\ 10^m$, D $+ 56°{,}6$. Lo si può riconoscere ad occhio nudo, come una sporgenza della Via Lattea, al tembo della quale si trova. L'estensione di tutto il gruppo doppio occupa quasi la superficie di un grado. La stella più lucida di esso è di grandezza 6,5; 176 stelle vanno fino alla tredicesima grandezza, quali furono misurate da Vogel soltanto nell'ammasso maggiore; ma vi si rinvengono ancora molte stelle più piccole che risplendono solo eventualmente. Questo ammasso riceve un'attrattiva straordinaria dall'avere il suo agglomerato di stelle diamanti cosparso di parecchie stelle colorate. Nel gruppo minore risplende una magnifica stella doppia del colore del rubino.

Fig. 171. — Ammasso stellare nei Gemelli.

Se riandiamo col pensiero le principali forme di ammassi stellari e di nebulose, dobbiamo pur giungere all'opinione che esse portano l'impronta di evoluzioni procedute per due differenti vie. A vero dire tutte sembrano tendere da una conformazione originalmente caotica, a forme più regolari concentrate verso l'interno. Si formano

Fig. 172. — Il doppio ammasso stellare in Perseo. Secondo un rilievo fotografico di G. Witt, eseguito nell'Osservatorio Urania.

dei corpi rotondi, che da una forza di propulsione esterna ancora sconosciuta, vengono distesi a spirale. Ora mentre un gran numero di globi nebulari vanno condensandosi ognora più in una evoluzione non perturbata, finchè tutta la loro materia, agglomerandosi verso il centro, abbia formato una stella, vale a dire un vero Sole, altre nebulose che primieramente mostravano del pari una tendenza generale a condensarsi verso un punto, si scindono in innumerevoli centri distinti

di condensazione. Con ciò dal corpo cosmico originalmente unico si genera un intiero mondo di oggetti celesti separati, i quali ad un osservatore situato nell'interno di esso devono presentare l'aspetto di un firmamento seminato di stelle; quale quello che noi vediamo sulle nostre teste. Probabilmente quelle masse nebulari che si condensano in un unico nucleo sono in realtà e non solo in apparenza di minore ambito di quelle che formano le coacervazioni stellari; ma siamo ben lungi dal poter stimare le loro vere dimensioni. Quindi le nebulose che producono una sola stella devono essere a noi molto più vicine degli ammassi stellari. Ora poichè, come già si disse, nella distribuzione delle nebulose fu scoperto un sistema, una via lattea di nebulose, così non sarebbe impossibile che queste nebulose ad un solo nucleo, siano solamente i singoli centri di condensazione di una gigantesca forma nebulare, i cui resti avvolgono ancora tutto il Cielo. Da essa si sarebbero altra volta condensate in un immane ammasso stellare tutte le stelle del nostro firmamento, nel quale il nostro Sole è un così insignificante punticino luminoso, quale quelli che noi vediamo tralucere in tanti altri ammassi stellari posti al di fuori.

Elenco di ammassi stellari e di nebulose per il 1900.

Designazione	Ascensione retta	Declinazione	Breve descrizione
Nebulosa d'Andromeda	$0^h\ 37{,}2^m$	$+40°\ 44'$	Grande, molto lucida, ellittica: lunghezza 2°, larghezza $^1/_3$°.
Ammasso stellare in Cassiopea	1 26,6	+60 16	Ricco, assai lucido.
" " nel Triangolo	1 28,2	+30 8	Nebulosa rotonda lucida del diametro di 40'. Risolubile in stelle.
" " h Persei	2 12,0	+56 42	Molto grande, molto ricco. Stelle dalla 7ª alla 14ª grandezza.
" " χ Persei	2 15,4	+56 41	Ricco. Id. id.
Pleiadi (η Tauri)	3 41,5	+23 47	Grande ammasso stellare disperso, con stelle lucide.
Iadi (γ Tauri)	4 14,0	+15 23	Id. id. id.
Nebulosa *a granchio* nel Toro	5 28,5	+21 57	Ellittica, lunga 5',5; larga 3',5; con ramificazioni.
Ammasso stellare nell'Auriga	5 29,7	+34 4	Assai lucida, grande, stelle dalla 9ª all'11ª grandezza.
Grande nebulosa d'Orione	5 30,4	— 5 27	Molto lucida, molto grande, col trapezio di stelle.
Nebulosa in Orione	5 31,1	— 1 16	Nebulosa molto grande presso ε Orionis.
Ammasso stellare nell'Auriga	5 45,7	+32 31	Molto lucido ricco (circa 500 stelle).
" " nei Gemelli	6 2,6	+24 20	Grande, assai denso. Stelle dalla 9ª alla 10ª grandezza.
" " in Argo	7 57,2	— 14 33	Grande, ricco, con nebulosa ellittica.
" " nel Cancro (ε Cancri)	8 34,5	+20 19	Grande, disperso, *Praesepe* = presepio.
" " nel Cancro	8 45,9	+12 12	Molto grande (20—39'), 200 stelle dalla 10ª fino alla 15ª grandezza.
Nebulosa nella Grande Orsa	9 47,3	+69 32	Ellittica, lunga 15', larga 6'.
" " " "	11 9,9	+55 33	Nebulosa planetaria di circa 4' di diametro.

Designazione	Ascensione retta	Declinazione	Breve descrizione
Nebulosa nella Vergine	12h 26,3m	+14 58	Assai grande, ellittica, condensata nel mezzo.
„ nei Cani da Caccia . . .	12 46,2	+41 39	Nebulosa planetaria, lucida come una stella di 8ª grandezza.
Nebulosa a spirale nei Cani da Caccia	13 25,7	+47 43	Famosa nebulosa di Lord Rosse. Due ragguardevoli nodi di luce.
Ammasso stellare nei Cani da Caccia	13 25,9	+47 47	
„ „ nella Bilancia . .	13 37,5	+28 53	Ammasso stellare di forma sferica di almeno 1000 stelle di 11ª grandezza ed oltre.
„ „ nello Scorpione .	15 13,5	+ 2 27	Ammasso stellare di forma sferica, molto denso, con stelle dall'11ª fino alla 15ª grandezza.
„ „ in Ercole . . .	16 11,1	−22 44	Grande e lucido ammasso stellare di forma sferica, molto ricco.
„ „ in Ofiuco . . .	16 38,2	+36 39	Ammasso stellare di forma sferica, molto lucido e ricco, fortemente condensato verso il mezzo.
„ „ „ . . .	16 42,0	− 1 45	Ricco ammasso stellare di forma sferica, con stelle dalla 10ª alla 15ª grandezza.
„ „ in Ercole . . .	16 51,8	− 3 56	
Nebulosa nel Sagittario	17 14,1	+43 15	Grande ammasso stellare di forma sferica, fortemente condensato al centro.
„ „	17 56,3	−23 2	Grande gruppo irregolare di nebulose con tre spaccature.
„ nel Dragone	17 57,7	−24 21	Ammasso stellare disperso, con grande gruppo di nebulose irregolarissimo.
„ omega nel Sagittario . .	17 58,6	+66 38	Nebulosa alquanto ellittica, planetaria, lucida, con nucleo, azzurra.
„ anulare nella Lira . . .	18 14,9	−16 13	Lucida, molto larga ed irregolare.
„ Dumbbell nella Volpe . .	18 49,8	+32 54	Molto lucida, larga, ellittica.
„ nell'Acquario	19 55,3	+22 26	Ellittica, foggiata a manubrio, grand'asse 9', piccolo 5'.
Ammasso stellare in Cassiopea . .	20 58,7	−11 45	Nebulosa planetaria, ellittica, piccola, molto lucida.
	23 52,0	+56 10	Grande e ricco ammasso stellare molto addensato, con stelle dalla 10ª fino alla 18ª grandezza.

17. — La Via Lattea.

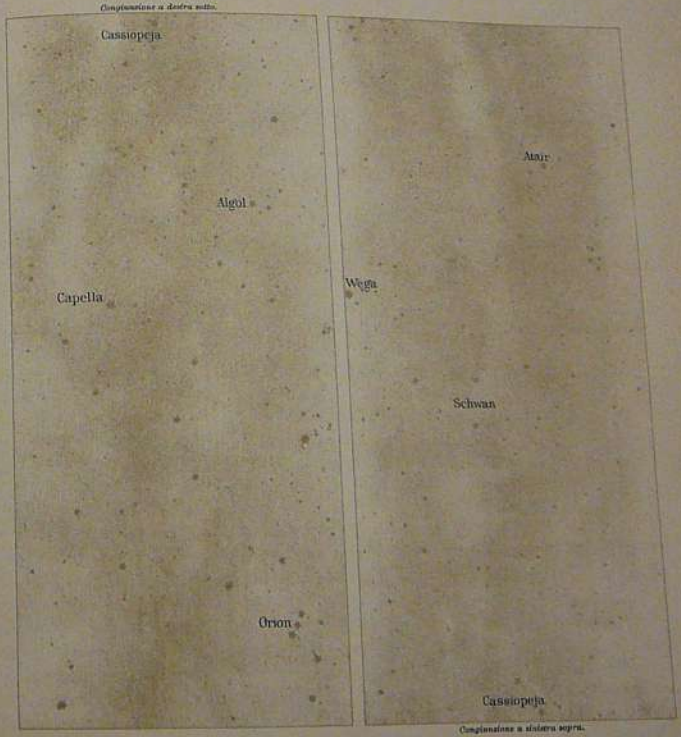
Pochi fenomeni celesti suscitano nell'osservatore riflessivo un'impressione più profonda, dell'aspetto della lucida cintura, che sembra avvolgere tutto il complesso dei mondi che popolano il firmamento. Per il nostro occhio, e malgrado tutte le sue diramazioni e gradazioni di luce, la Via Lattea forma un gran tutto, una forma cosmica unica, richiudentesi in sè, che in sè comprende ed abbraccia tutto il Cielo, ed in esso il nostro Sole e noi stessi. Non si richiede uno studio molto profondo per indovinare in questa massima fra le meraviglie celesti, un anello, che circonda tutta una grande accolta di mondi.

La Via Lattea si mostra in tutto il suo splendore nelle zone equatoriali del nostro pianeta, nelle quali durante una rotazione della Terra, passano sopra noi tutte le parti della vôlta celeste, e quindi nel corso dell'anno tutto il Cielo stellato diviene volta a volta visibile, mentre nelle nostre latitudini una gran parte di esso rimane eternamente coperta dal corpo della Terra. Solo colà il chiuso anello si presenta completamente all'osservatore.

Gli astronomi dell'antichità, che in massima parte vissero sotto latitudini più meridionali, avevano già dedicato alla maestosa cintura una vivace attenzione, e desta pure meraviglia che anche su questo argomento, accanto alle opinioni fantastiche, siano state presentite le idee che l'impiego solo del cannocchiale poteva elevare a certezza: Manilio e Democrito avevano emesso l'opinione che la " Galaxia „ consistesse di un'agglomerazione di numerosissime stelle in uno spazio ristretto. Ecco sommariamente alcune opinioni degli antichi intorno alla Via Lattea. Alcuni volevano vedere in essa della luce abbandonata dal Sole, il quale altra volta aveva percorso quell'orbita; altri credevano che qui fossero saldati assieme i due emisferi del firmamento, e che attraverso alla giuntura penetrasse la luce eterna dello spazio occupato dagli dèi al di là del mondo.

Tolomeo ci dà già una descrizione assai minuta del percorso della Via Lattea nel suo *Almagesto*. Se anche essa non è abbastanza esatta da permettere, con paragoni collo stato attuale, di decidere se siano avvenuti mutamenti nella posizione e nella luminosità di quella cintura di luce, tuttavia quell'antica descrizione permette di riconoscere che i suoi tratti generali sono rimasti inalterati e tali quali noi li vediamo, e che quindi noi abbiamo a che fare con una forma, che deve stare molto al di là del regno del Sole, poichè altrimenti nell'intervallo di tempo noi avremmo dovuto avvertire nella Via Lattea i movimenti della materia, per natura, inevitabili.

Ma per potere in avvenire constatare dei mutamenti di minore ambito, che di per sè non sono improbabili, è della massima importanza il fissare, in modo sicuro quanto si può, l'attuale forma di quella lucida cintura che ancora oggidì, nello stato attuale delle nostre cognizioni, racchiude in sè tanto di misterioso. Ma il còmpito si presenta, contro ogni aspettativa, arduo, poichè ben presto si constata che il cannocchiale non è più in grado di porgere all'osservatore quel sussidio che in altri casi gli porge largamente. L'oggetto è troppo esteso, ed anche



LA VIA LATTEA SETTENTRIONALE.

Secondo *C. Easton.*

i minimi ingrandimenti risolvono già quella forma in un numero stragrande di punticini luminosi separati, di tutte le grandezze. In tali condizioni non rimane altro a fare, che rinunziare ad ogni mezzo sussidiario e fissare col disegno le particolarità evanescenti, còmpito difficilissimo e noioso, quando si voglia raggiungere un risultato che sia, per quanto si può, indipendente da concetti soggettivi e possa pretendere ad unità. L'impressione delle singole parti della cintura è in confronto colle altre quasi diversa ogni sera, poichè mutano lo stato dell'aria e la posizione rispetto all'orizzonte. Solo ad un'attitudine speciale e ad un'abilità grandissima può riuscire di superare tutte queste difficoltà. Cosiffatti studi col disegno vennero eseguiti a suo tempo da Edoardo Heis in Münster (Vestfalia), che era dotato di un occhio straordinariamente acuto, poi da Hermann J. Klein in Colonia, più recentemente da Böddicker, astronomo dell'osservatorio privato irlandese di Lord Rosse, e finalmente recentemente affatto da Easton in Dordrecht (Olanda). Tutti questi disegni abbracciano naturalmente al più la porzione della Via Lattea visibile nelle nostre latitudini, cioè non molto più della mezza circonferenza del grandioso anello, poichè, sebbene anche dal nostro punto d'osservazione si possa, nel corso dell'anno, vedere più di quello, le porzioni più meridionali rimangono sempre così vicine all'orizzonte, che non è più possibile il farne un rilievo scevro da mende.

La *carta della Via Lattea*, delineata da Easton, è riprodotta nella qui annessa carta. L'autore, oltre a questa rappresentazione d'insieme, delineò anche tre altre carte speciali, in scala alquanto più grande, di certe regioni. Questi quattro fogli sono il risultato di uno studio durato circa cinque anni; il lavoro fu eseguito fra il 1882 ed il 1887. Easton distingue 164 zone diverse, macchie, punti luminosi, ecc., dei quali poi ha compilato un elenco; nella nostra figura abbiamo segnato solo particolarmente gli oggetti più appariscenti.

Per farsi un'idea del come le varie particolarità della Via Lattea, diluentisi l'una nell'altra, possano essere diversamente percepite, si paragoni il disegno di Easton, con quello tracciato sulla nostra carta dell'emisfero celeste settentrionale seguendo Heis ed Argelander per una parte (V. pag. 333), e per l'altra con quello dipinto sulla carta delle nebulose di Water (metà settentrionale) secondo gli studi di Böddicker (V. pag. 402). Una quantità di dettagli colpisce gli occhi in queste rappresentazioni, fra le quali non è possibile portare alcun ordine. Per accennare almeno alle parti principalissime, percorriamo sul disegno di Easton il tracciato della Via Lattea, cominciando dal ramo meridionale, che durante le nostre notti d'inverno vediamo passare sopra le costellazioni del Cane Maggiore e di Orione. Nella Via Lattea stessa sta qui la costellazione poco ragguardevole del Liocorno. Un occhio, non straordinariamente acuto ed educato, vede qui la cintura molto esile e poco lucente; un occhio ordinario non riconoscerà mai il debole albore nebulare che Easton disegna diffuso sopra tutta la costellazione d'Orione. In questa regione la Via Lattea ha pertanto una delimitazione molto male definita. Nel suo percorso ulteriore, fra i Gemelli ed il Toro giù fino alla costellazione dell'Auriga, il suo splendore si rinforza di molto. Il profano vi osserva niente più di un nastro uniformemente lucente, i cui lembi si vanno diffusamente perdendo nello spazio celeste, sebbene la diminuzione di splendore, a partire da quel punto, diventi già più notevole che nelle parti più meridionali. Nel disegno di Easton si vede già anche qui come

la luminosità in molti luoghi si raggruppi in larghi ammassi sbiaditi, mentre altri luoghi, per lo più nelle vicinanze di stelle lucide, sembrano molto più oscuri che i dintorni. Ad esempio, una tale macchia oscura si trova sotto β Tauri. Per contro sotto la bella Capella, la prima stella del Cocchiere, che noi abbiamo già imparato a conoscere come la stella più rassomigliante al Sole fra tutte quelle esaminate spettroscopicamente, la meravigliosa corrente di luce si condensa di nuovo.

La Via Lattea si prolunga quindi attraverso a Perseo sino a Cassiopea, con punti più lucenti, canali più oscuri, insenature, promontori, abbracciando nella prima costellazione il doppio ammasso stellare. Il W lucente di Cassiopea, posto nel mezzo della via lattea, è attraversato precisamente dalla divisione della carta di Easton. La luminosità della fascia va via aumentando ognor più, finchè nella costellazione del Cigno raggiunge il massimo splendore che ha nell'emisfero settentrionale; qui si presentano molte particolarità così potentemente tratteggiate che non possono neppure sfuggire ad un occhio non pratico. La stella Deneb, α della costellazione del Cigno, sta sul culmine di una figura simile ad un drago volante di carta usato dai bambini, che è costituita dalle cinque principali stelle della costellazione del Cigno ed il cui asse di lunghezza giace esattamente nel percorso della Via Lattea: innanzi ad essa, dal lato di Cassiopea, sta una chiazza particolarmente lucida. Un poco a Nord Est da quel punto (in alto a sinistra sulla nostra carta) si mostra per contro una macchia nera notevole, circondata dalla luminosità della Via Lattea, e che Easton ha chiamato il *Sacco di carbone settentrionale*, in relazione a due oggetti molto più notevoli della Via Lattea dell'emisfero meridionale. Alla stella γ Cigni, nel mezzo del drago di carta, tien dietro una nube luminosa che si distende molto in lunghezza a guisa di coda di cometa, che si protende fino alla stella β sull'estremità esteriore della coda del Drago, e che è per fermo la configurazione più notevole della Via Lattea settentrionale. In generale questa regione del Cigno è di molto la più bella di tutta la fascia, quale ci appare nelle nostre latitudini.

Sotto la linea che congiunge le stelle α e γ del Cigno, comincia un canale largo oscuro che attraversa il mezzo della Via Lattea, che a partire da questo punto si biforca ed aumenta quindi notevolmente in larghezza. Dopo i due rami vanno ognora più scartandosi uno dall'altro sopra un percorso che occupa abbondantemente la quarta parte di tutta la vôlta celeste; la parte meridionale resta però sempre la parte più notevole e prende segnatamente nella costellazione del Sagittario una intensa luminosità, sebbene questa costellazione si mantenga già molto vicina all'orizzonte. D'altronde la rappresentazione di Easton non giunge più fino al Sagittario, ma solamente fino alla piccola costellazione, Scudo di Sobieski, che si distingue meno per stelle notevoli che per ammassi stellari che vi si adunano e per la grande nebulosa *Omega*. Il ramo settentrionale della Via Lattea subisce, nella costellazione del Serpente, un'interruzione, oppure vi diviene estremamente debole per rinforzarsi di nuovo solo nello Scorpione, ove la Via Lattea tocca la sua massima larghezza.

Passando ora a quella parte dell'emisfero meridionale che non diviene mai visibile per noi nelle nostre latitudini, la Via Lattea si restringe di nuovo e scorre alquanto presso alla costellazione della Croce del Sud, riunita in una sola fascia, la quale però colà pure subisce una interruzione nel notevolissimo così detto *Gran*

Sacco di Carbone. A partire da questo punto la Via Lattea diminuisce costantemente di grandezza e di splendore e sembra perdersi quasi intieramente in un breve tratto nella costellazione della Nave. A circa 20° più lontano verso Nord, nel Liocorno, noi ritroviamo di nuovo quella parte del luminoso anello, colla quale avevamo iniziato la sua descrizione.

In questo rapidissimo sguardo, già si avvertono due cose molto notevoli: il graduato crescere della luminosità ed il contemporaneo allargarsi della zona. Osservando tutto il percorso tracciato sopra un globo, si vede che la regione più esile e scialba sta diametralmente opposta alla più larga e più lucente. In quest'ultima si riconoscono la più parte dei particolari e la biforcazione vi si presenta particolarmente distinta. Questi fatti fanno nascere spontaneamente la congettura che noi ci troviamo più vicini alla regione più lucida che all'opposta, e che pertanto la nostra posizione nell'immane anello sia eccentrica. Noi saremmo pertanto più prossimi all'anello di stelle che ci circonda nella direzione del Cigno o dell'Aquila che non in quelle del Liocorno o della Nave Argo. D'altra parte sul globo noi vediamo anche subito che la Via Lattea non percorre il firmamento lungo un così detto gran cerchio. Infatti, se da un punto qualunque di essa si conduce una linea retta al punto diametralmente opposto, questa retta non passa mai per il centro del globo, ma sempre alquanto sotto a Sud. Se noi disponiamo il globo in guisa che la costellazione della Chioma di Berenice stia allo zenit, allora quasi tutta la Via Lattea rimane sotto l'orizzonte: pertanto noi dobbiamo stare a Nord del piano principale che si può condurre a traverso all'anello che avvolge il mondo. Sulla separazione tra la Chioma di Berenice ed i Cani da Caccia, in un punto di $12^h\,38^m$ di AR e $31°{,}5$ di declinazione settentrionale, sta il *Polo Nord della Via Lattea*, cioè il punto, il quale, per quanto ciò è possibile generalmente, data l'irregolarità della configurazione, è egualmente distante da tutte le parti di essa.

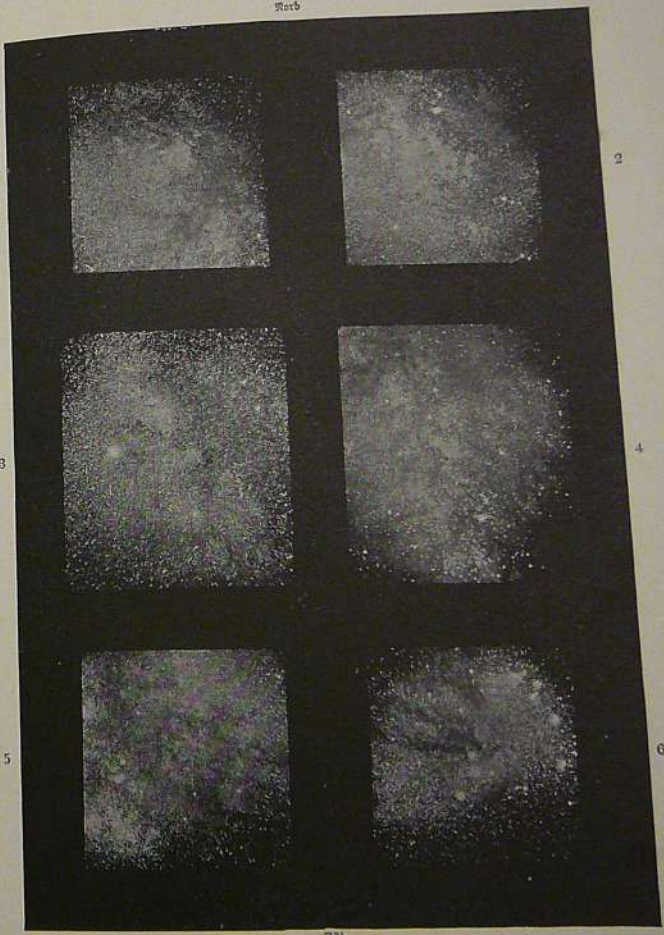
Fig. 173. — Ellisse con raggi.

Inoltre anche al primo colpo d'occhio si vede che la Via Lattea non può in alcun modo essere un tutto connesso di forma anulare alquanto regolare; le diramazioni, le insenature, le sporgenze, le macchie chiare ed oscure di ogni forma, i canali ed i ponti di luce dimostrano che essa ha una conformazione molto complicata. Se si vuol tentare di scoprire in essa un qualche ordine, dobbiamo prima farci una qualche idea chiara della natura della proiezione, sotto la quale noi vediamo queste particolarità. Anche un corpo piatto di forma lenticolare può mostrare la forma fondamentale di un anello che l'accumulazione di materia della Via Lattea ha preso a grandi tratti per il nostro punto d'osservazione, e ciò quando l'occhio si trovi all'incirca nel mezzo di esso. Se volgiamo lo sguardo verso la costa della lente, noi dovremo attraversare la massima parte di materia, ed ove essa risplenda, riceverne la massima quantità di luce. Ma man mano che noi ritraggiamo lo sguardo da questo piano principale, tanto meno di materia è incontrata nella lente dalla nostra visuale come è sensibilmente manifestato dal disegno della figura 173. Supponiamo, ad esempio, che l'ellisse disegnata sia uniformemente riempita di punti luminosi, stelle, così che nella direzione del grande asse se ne

possano contare 100: in una direzione ad esso perpendicolare se ne conteranno solamente 25. Se i punti luminosi si riuniscono per il nostro occhio in una luminosità generale, allora questa deve essere anche in una direzione quattro volte più intensa che nell'altra. Se la diminuzione della luminosità è continua andando dal grande asse verso il piccolo, essa tuttavia deve essere più rapida nelle vicinanze del primo che non in quelle del secondo. Abbiamo diviso un quadrante dell'ellisse in 6 parti, ciascuna delle quali sottende al centro un angolo di 15 gradi. Il calcolo insegna che ad una distanza angolare di 15 gradi dal grande asse si conterebbero soltanto 71 stella invece di 100: la diminuzione della luminosità generale ascende quindi a più d'un quarto della massima. Nei pressi del piccolo asse per contro il rapporto per lo stesso angolo si riduce a 25:26.

Anche nella supposizione di una distribuzione intieramente regolare può in certe posizioni dell'apparente anello, presentarsi al nostro occhio una delimitazione discretamente distinta delle sue parti più lucide. Ma anche un corpo piatto, foggiato ad anello, della forma all'incirca della nebulosa anulare della Lira, mostrerebbe una distribuzione di luce consimile. Finalmente la Via Lattea potrebbe essere una spirale molto piatta più o meno connessa, i cui rami per noi si projettino in massima parte l'uno dietro l'altro, e che perciò non si possono più vedere separatamente. Stando sempre alla supposizione che la forma debba rappresentare soltanto i tratti più generali della configurazione (ad esempio invece del corpo di forma lenticolare si potrebbe porre un cumulo separato consistente di ammassi di materia più piccoli, che visto da lontano potrebbe figurare come lente) non se ne potrebbero trovar facilmente altre forme che s'accordino colle apparenze constatate.

La circostanza che la Via Lattea si può riferire soltanto ad una delle tre forme fondamentali, che noi già incontrammo sul Cielo stellato nelle nebulose e negli ammassi stellari, ci conduce al pensiero che essa possa in realtà essere una forma cosiffatta nelle cui regioni medie il Sole si trova assieme a noi: un immane ammasso stellare quale quelli che noi vediamo meglio al di fuori del nostro. Già sappiamo che la Via Lattea, anche con mezzi ottici molto deboli, si risolve in una inesauribile schiera di stelle; essa è quindi realmente un ammasso stellare. Cerchiamo ora di esaminare quali caratteristiche le spettino, e ricorriamo perciò al cannocchiale. Ma come possiamo noi padroneggiare questi millioni e millioni di stelle per scoprire fra esse connessione e regolarità? Si esamini la figura 174 che riproduce una fotografia di una porzione della Via Lattea nel Cigno, presa da Barnard con un apparecchio di sei pollici (cm. 15 circa), e si comprenderà l'incertezza degli astronomi di fronte a quella massa opprimente. Non è neppure il caso di parlare di una noverazione o di un ordinamento secondo classi di grandezza e neppure di determinazione di distanze reciproche, e tuttavia solo così si può in definitiva ricavare qualche cosa sulla vera costituzione di quell'ammasso di mondi. Per il momento la fotografia non può su questo argomento servire a molto. Recentemente si è cercato di fare dei rilievi della Via Lattea con apparecchi molto piccoli che per il loro ingrandimento differiscono il meno possibile dall'occhio umano (V. qui unita tavola: *Fotografie di varie parti della Via Lattea*). Ma anche i fotogrammi presi coi maggiori apparati mostrano pur sempre dei tratti caratteristici generali della costituzione; così la bella rappresentazione



Fotografie di varie parti della Via lattea.

Eseguite nel 1895 da E. E. Barnard all'Osservatorio Lick con una lente di $1\,^1/_2$ pollici (cm. 3,81).

1. Regione intorno a Messier 11 (A. R. $18^h\,40^m$, Decl. $-8°$, 16 agosto 1895);
2. Nel Sagittario, alla coda dello Scorpione, colla nebulosa Messier 8 (A. R. $17^h\,56^m$, Decl. $-28°$, 23 agosto 1895);
3. Presso Altair (la stella lucida a sinistra del centro) (A. R. $19^h\,20^m$, Decl. $+8°$, 17 agosto 1895);
4. Nel Sagittario, fra le nebulose Trifida ed Omega (A. R. 18^h, Decl. $-19°$, 19 giugno 1895);
5. Fra la nebulosa Trifida e ζ Ophiuchi (A. R. $17^h\,40^m$, Decl. $-23°$, 26 giugno 1895);
6. Presso Antares (A. R. $16^h\,20^m$, Decl. $-23°$, 30 marzo 1895).

Fig. 174. — Rilievo fotografico della Via Lattea nelle vicinanze della stella ε del Cigno. Ottenuto da Barnard il 25 settembre 1894, con 5 ore e 20 minuti di esposizione.

della regione della Via Lattea (V. fig. 175) posta nel Liocorno, che Barnard ottenne il 1° febbraio 1894, con una lente di 6 pollici (15 cm. circa), ed una esposizione della durata di tre ore.

Noi sappiamo già che questa parte della fascia appartiene a quelle più debolmente luminose, e pur tuttavia quale straripante abbondanza di stelle di ogni grandezza, dalla sesta o settima fino alle più minute, che nel fotogramma stesso si agglomerano ancora in una nebulosa irresolubile, non è dessa disegnata su questa immagine che comprende pochi gradi quadrati? Per farsi un concetto

Fig. 175. — Rilievo fotografico nella Via Lattea nelle vicinanze della stella 15 del Liocorno. Eseguito da E. E. Barnard il 1° febbraio 1894 con un'esposizione di 3 ore.

almeno approssimativamente adeguato della ricchezza stellare di quella regione, noi abbiamo contati i punti stellari per l'area di un centimetro quadrato in una posizione del fotogramma mediamente popolata, e ne trovammo circa 290; quindi, in cifre rotonde, sulla figura sono distribuite 60.000 stelle. La Via Lattea non appare meno ricca sull'emisfero meridionale; di essa Russell in Sydney ha fatto dei rilievi bellissimi (V. fig. 176); uno di essi, quello ottenuto il 15 agosto 1890

con un'esposizione della durata di tre ore, mostra una regione presso $16^h\ 38^m$ AR, D — 55°,5. Se si paragonasse questo fotogramma con quello di Barnard, che fu ottenuto con mezzi ottici simili, e con un'eguale durata di esposizione, si giungerebbe ad un concetto del tutto sbagliato della distribuzione relativa delle stelle in questi due campi; la figura di Barnard appare molto più ricca di quella di

Fig. 176. — Parte della Via Lattea Meridionale. Secondo un rilievo fotografico di Russell in Sydney.

Russell, mentre la prima appartiene ad una regione molto più povera di quella cui appartiene l'ultima. La completa uniformità di specie e trattamento delle lastre, che si tenta di raggiungere nella preparazione della grande carta fotografica celeste permetterà forse un giorno un miglior confronto fra le parti della Via Lattea.

Ma per trovare una regolarità nella distribuzione delle stelle della Via Lattea, di fronte all'abbondanza eccessivamente grande, fu forza il limitarsi al metodo del campione, nel quale si fa il computo solo per una piccola porzione, e quindi dall'aspetto generale si conchiude ad una distribuzione all'incirca eguale nella rimanente superficie. Questo metodo, che fu applicato per la prima volta da Herschel il vecchio, si chiama degli scandagli stellari. Herschel dirigeva il suo telescopio

verso una determinata regione del Cielo, e ne notava la posizione rispetto al percorso generale della Via Lattea, assieme al numero delle stelle che egli poteva noverare nel campo di visione. In ciò non si teneva alcun conto della differente lucidità delle stelle, solo si badava a che, in circostanze atmosferiche egualmente buone, venisse adoperata la stessa apertura di obiettivo; con ciò veniva posto un limite determinato alla così detta forza di penetrazione nello spazio del cannocchiale. Se si ammette che la grandezza e lucidità delle stelle siano in media le stesse in tutte le parti dello spazio celeste, un cannocchiale di potenza ottica determinata permetterà di riconoscere questa grandezza media soltanto fino ad una data distanza; è quindi ad esso prescritta una determinata cerchia, alla quale sono ristrette le sue indagini. Entro a questa porzione di spazio celeste che non è più possibile il misurare con unità umane, cui giungeva uno dei suoi più famosi telescopi, Herschel contò in 3400 luoghi la quantità di stelle di ogni campo di visione, che abbracciava la quarta parte della superficie apparente della Luna. Suo figlio John Herschel completò questo faticoso lavoro con 2299 scandagli sull'emisfero meridionale. Nei giorni nostri quei lavori furono ripetuti, specialmente anche da Th. Epstein in Frankfurt sul Meno. I singoli scandagli furono riuniti in valori medi per le posizioni uguali del campo di visione rispetto al percorso generale della Via Lattea ed ordinati in diversi modi.

Ma, come era da aspettarsi, apparve da ciò una forte diminuzione della frequenza delle stelle, col crescere della distanza dal circolo parallelo, intorno al quale s'aggruppa la luminosità della Via Lattea. Per esso gli scandagli di Herschel diedero come media frequenza di stelle 122; per contro a 15 gradi a settentrione di esso, Herschel non contò più che 30 stelle. A questa distanza si sta, probabilmente ad eccezione delle regioni più larghe della Via Lattea, affatto fuori del dominio luminoso di questa, che è percettibile ad occhio nudo. Allontanandosi ancora più dal suo piano principale, si constata il fatto che la frequenza delle stelle va ognor più diminuendo senza regolarità avvertibile, finchè nei due punti a Nord e a Sud più distanti dal percorso principale della Via Lattea, cioè ai poli di questa, raggiunge un minimo assoluto per tutto il Cielo. Così, ad esempio, nell'emisfero settentrionale a 30 gradi di distanza angolare dalla Via Lattea, non s'incontra più che all'incirca un numero di stelle metà di quello che si trovava a 15 gradi, vale a dire 18 invece di 30. a 45 gradi appaiono soltanto più 10 stelle, a 60 gradi da 6 a 7. I dintorni del polo della Via Lattea sono affatto vuoti di stelle. In tutto ciò, come già si disse, si tratta soltanto di numeri medi; in alcuni casi lo strato di stelle nella Via Lattea, si mostrò al gigantesco telescopio di Herschel, come anche ai migliori strumenti esistenti oggi nel mondo, come affatto impenetrabile, giacchè dietro alle stelle con fatica intravedute distinte, si stendeva sempre ancora un velo nebulare.

La regolarità della distribuzione di tutte le stelle del firmamento, ben dimostrata, che risulta dipendente dalla posizione della Via Lattea, comprova anche come tutte quelle stelle appartengano al grande ammasso stellare della Via Lattea. Noi apparteniamo quindi a questo ammasso stellare, e non ci troviamo soltanto accidentalmente nella vicinanza immediata del suo piano principale.

È pertanto una questione difficile a risolvere quella se le stelle, che costituiscono la parvenza della Via Lattea propriamente detta, siano della stessa natura

e grandezza di quelle che popolano il firmamento al di fuori di essa. Noi abbiamo già accennato che Herschel constatò in alcuni luoghi un esteso velo nebulare al di là delle più piccole stelle, velo che però egli riguardava ancora come risolubile. Ma quanto più lunghe sono le durate dell'esposizione nella fotografia celeste, tanto più di frequente la lastra sensibile scopre entro alla Via Lattea di così fatte forme nebulari, che molto spesso si protendono molto al di là di essa, così che, ad esempio, le grandi nebulose scoperte fotograficamente nelle Pleiadi ed in Orione probabilmente stanno in connessione col percorso della Via Lattea. Lo spettroscopio, a cagione dell'eccessiva debolezza di questo albore luminoso, è impotente a definirne la costituzione fisica, ma tutto si pronunzia a favore dell'opinione che qui non si tratti di ammassi stellari fittamente addensati, ma di vere masse nebulari. È quindi a discutersi la questione se la Via Lattea sia veramente un ammasso stellare risolubile, o se la sua luminosità non sia probabilmente prodotta in massima parte da quelle masse nebulari.

Si guardi da questo punto di vista al fotogramma (V. fig. 177) che riproduce la parte sopra descritta della Via Lattea, nei dintorni della stella α del Cigno, ottenuto da Wolf in Heidelberg dopo 13 ore di esposizione. Un confronto col disegno di Easton, conferma precisamente molte particolarità dell'ultimo, ma d'altronde si presentano molte masse nebulari che hanno del tutto lo stesso carattere delle rimanenti parti del disegno o del fotogramma, e che tuttavia si devono con grande probabilità ritenere come vere nebulose. Questo vale particolarmente per la così detta nebulosa americana, che si trova al lembo destro del rilievo di Wolf, e della quale già tenemmo discorso, e che emette principalmente raggi ultravioletti.

Ad ogni modo la luminosità della Via Lattea non ripete la sua origine essenzialmente dalle maggiori stelle, ma bensì piuttosto dalle più piccole e piccolissime dall'11ma grandezza in giù. Le stelle catalogate fino alla grandezza 9,5 mostrano un aumento che non si può non riconoscere, andando verso la Via Lattea, come appare ad un semplice sguardo gettato sulla *Durchmusterung* di Argelander, ma la legge dell'aumento è però tutt'altra di quella di tutte le stelle considerate negli scandagli di Herschel. In questi ultimi il rapporto della massima alla minima frequenza di stelle era in media, per le corrispondenti regioni esterne, come 14 : 1; per contro per le stelle dalla 1ª alla 9ª grandezza questo rapporto è di 2,5 : 1. L'aumento verso la Via Lattea è quindi molto minore per le stelle più lucide, cioè in media a noi più vicine, che occupano la parte centrale di tutta la forma, che per le stelle più piccole sui lembi dell'ammasso. Poichè questo rapporto cambia repentinamente al di là della 9ª e 10ª classe di grandezza, così a ciò si può connettere la congettura che l'ammasso interno di Soli, al quale noi apparteniamo, abbia una certa delimitazione verso l'anello esterno (quando ci si permetta di considerare semplicemente come anello quella complicata conformazione). Secondo questa congettura pertanto, fra l'ammasso interno, la cui forma s'accosta più a quella sferica, e l'anello circostante più schiacciato, sta una regione povera di stelle. Si dànno molte volte corpi celesti così costituiti, e si potrebbe addurre come esempio la nebulosa anulare della Lira, quando si ponga mente alla parte centrale scoperta a mezzo della fotografia.

Dentro alla Via Lattea stessa però anche la distribuzione delle stelle più lucide sembra crescere concordemente colla lucidità di essa, come è stato provato da un faticoso raffronto di Plassmann (in Warendorf presso Münster). Plassmann prendendo a base la *Durchmusterung* di Argelander per l'emisfero Nord, ha calcolato l'intensità luminosa relativa di tutte le stelle di quell'opera, ad eccezione di

Fig. 177. — Rilievo fotografico della regione della Via Lattea presso α Cigni unitamente alla grande nebulosa americana, eseguito da M. Wolf in Heidelberg con $13^h\ 5^m$ di esposizione.

quelle visibili ad occhio nudo, cioè dalla grandezza 6.5 fino alla 9^a-10^a, per certi campi delimitati rettangolarmente, e poi paragonò queste intensità luminose con quelle che si ricavano dai disegni della Via Lattea. Da ciò risultò ad esempio la combinazione riprodotta nella figura 178. Sul lato sinistro è riprodotta una porzione della Via Lattea secondo Easton in guisa che le regioni di eguale intensità luminosa sono fatte spiccare distintamente da diversi tratteggiamenti, a destra per contro stanno inscritti nei rispettivi rettangoli i numeri relativi di Plassmann, che rappresentano le quantità di luce complessive che, emesse da quelle superficie, si raccolgono nel nostro occhio. La concordanza è tanto buona, quanto lo permette il metodo impiegato.

Tutte queste circostanze rendono discretamente sicuro che la luminosità della Via Lattea sia causata quasi esclusivamente da piccole stelle, mentre solo in pochi luoghi ed in minima misura vi concorrono veri veli di nebulose. Abbiamo già discusso in modo generale nelle nostre considerazioni sulla visione come ed in qual grado questi innumerevoli punti luminosi debbano originare la luminosità della Via Lattea.

È molto notevole l'accrescimento della frequenza delle stelle che appare dalle fotografie della Via Lattea rispetto a quella che si constata cogli scandagli eseguiti coi migliori strumenti nella regione stessa. Ciò si può solamente spiegare

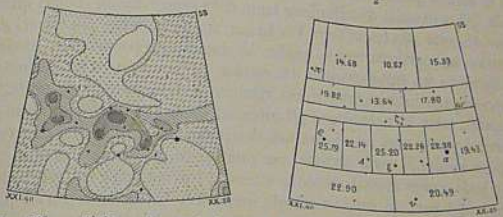


Fig. 178. — 1) linee di uguale intensità di luce nella Via Lattea nel Cigno; 2) Numeri relativi di Plassmann per la frequenza delle stelle nella stessa regione del Cigno

ammettendo che nella Via Lattea esista un gran numero di stelle che irradiano principalmente raggi ultravioletti, e che quindi non possono in massima parte venire avvertite direttamente nei cannocchiali. Si può ammettere che la metà delle stelle che con un rilievo durato 13 ore si mostrano in una data regione, non partecipano per nulla alla luminosità generale, che rivela al nostro occhio umano il meraviglioso fenomeno, mentre esseri dotati di occhio più sensibile all'azzurro dei nostri, vedrebbero la Via Lattea ancora d'altrettanto più lucida di quanto la vediamo noi. Ora, poichè la natura della luce emessa dalle stelle ci dice qualche cosa intorno alla loro costituzione fisica, e particolarmente che le stelle emettenti essenzialmente luce violetta appartengono alla prima classe spettrale delle così dette stelle del tipo di Sirio, cioè al primo grado di sviluppo, così i risultati dei rilevamenti fotografici in confronto di quelli della visione diretta provano già di per sè stessi, che la massima parte delle stelle componenti la Via Lattea hanno una comune istoria di provenienza, un'origine comune. Di ciò dà indizio anche la distribuzione delle stelle più lucide, la cui energia di luce permette ancora che esse vengano separatamente esaminate allo spettroscopio. Secondo I. C. Gore il 63 per cento di tutte le stelle esaminate spettroscopicamente e che si proiettano sulla fascia della Via Lattea, appartiene al tipo di Sirio, mentre le stelle sparse sul rimanente del Cielo, e che si trovano anche nell'interno di quella problematica configurazione ad anello, sono principalmente stelle del tipo del Sole, cioè appartengono ad uno stadio avanzato di sviluppo.

Qui s'impone ancora un'altra volta il paragone colla nebulosa anulare della Lira, nella quale viene del pari congetturata una non uniforme distribuzione della

materia od almeno del suo stato fisico; soltanto che essa colà è l'inversa, la luce ultravioletta emana essenzialmente dalle parti centrali dell'anello. La regione della Via Lattea nel Cigno ha ancora un carattere spettrale proprio, giacchè vi si presentano esclusivamente stelle del così detto tipo Wolf-Rayet II *b*. Queste, accanto a linee oscure, ne posseggono anche delle chiare e dànno con ciò notizia di atmosfere lucenti molto estese. Anche qui lo spettroscopio dimostra la comunanza del processo di evoluzione di un gruppo di stelle della Via Lattea, sebbene non si possa dire con determinazione se queste poche stelle dalla 7ª alla 9ª grandezza si trovino realmente entro al percorso della Via Lattea od appaiano soltanto proiettate su di essa, e quindi stiano notevolmente più vicine.

Nella già accennata distribuzione tanto delle coacervazioni stellari quanto delle nebulose rispetto alla fascia della Via Lattea, sta un fatto che pone fuori di dubbio come tutte, ma particolarmente quelle, in numero preponderante, distinte od in gruppi formino un tutto comune. Di recente Sydney Waters ha istituito intorno a ciò una ricerca interessante, il cui risultato è dato dalle carte unite. In esse sono segnate tutte le nebulose e gli ammassi stellari del nuovo catalogo generale di Dreyer; i punti neri su di esse non designano stelle, ma nebulose irresolubili; le nebulose risolubili sono segnate con punti rossi, gli ammassi stellari con croci rosse. Si vede, come spiccatamente le ultime si trovino quasi esclusivamente sulla Via Lattea; del pari, in modo notevole, nella Via Lattea sono rari i punti neri delle nebulose irresolubili, come pure nei dintorni più lontani, mentre sono abbastanza regolarmente distribuiti nel rimanente del Cielo. Al più, come già si disse, si potrebbe tracciare una serie di nidi di nebulose attraversante la Via Lattea. La rarità delle nebulose lungo il percorso della Via Lattea è però soltanto apparente, poichè questa ultima turba la visibilità di oggetti più deboli di questa natura. Secondo Scheiner le vere nebulose gasose si trovano tutte precisamente nelle vicinanze della Via Lattea. Per la distribuzione degli ammassi stellari lucenti non si può trovare una simile spiegazione; l'essere dessi accumulati nella Via Lattea deve dipendere da una organica connessione con questa. Noi dobbiamo riguardarli come parti della Via Lattea che corrisponderebbero all'incirca ai nodi di luce che noi ritroviamo talvolta a centinaia nelle nebulose che stanno al limite della risolubilità, quando noi potessimo osservare la Via Lattea ad una distanza simile a quella che ci separa dalle nebulose. È molto interessante anche il tener dietro sulla carta al modo col quale le nebulose, sebbene ancora risolubili, si attacchino a quelle non più risolubili, e come sembrino non essere punto connesse coi menzionati ammassi stellari e colla Via Lattea. Mentre quindi noi dobbiamo riguardare questi ultimi come nodi di luce dell'ammasso stellare al quale apparteniamo, gli ammassi stellari molto addensati delle nebulose ancora del pari risolubili, sono da riguardarsi probabilmente in parte, come sistemi di Vie Lattee, che si sono formati al di fuori del nostro a distanze inconcepibilmente grandi.

Se raccogliamo assieme tutte le cognizioni acquistate finora sulla Via Lattea, vediamo che la sua immagine ci si presenta sempre più distintamente come quella di un ammasso stellare che si è condensato da una nebulosa a spirale originaria, e che poco per volta poi si è scisso nella forma complicata che ci presenta innanzi agli occhi. Benchè le indagini siano ben lontane dall'essere sufficientemente avanzate da poter fornire contorni determinati di questo ammasso stellare

DISTRIBUZIONE DELLE NEBULOSE E DEGLI AMMASSI STE

Disegnato da *Sydney Waters* a mezzo del Catalogo Dreyer.

Bibliographisches In

STELLARI SULL'EMISFERO SETTENTRIONALE DEL CIELO.

yer. — La via lattea è delineata secondo i rilievi di Boddiker.

Institut, in Leipzig

della Via Lattea, si può però con sufficiente ragione ritenere che la sua forma fondamentale non sia molto diversa da quella struttura a spirale, quale è quella che ci mostra il disegno di Vogel della nebulosa nei Cani da Caccia (V. tavola a pagina 383). Se ci raffiguriamo in questa ancora più numerosi i nodi di luce, ed inoltre, se immaginiamo esportata la materia nebulare interposta, il tutto si risolve per ultimo in stelle, ed allora l'aspetto di questa forma non può nei suoi tratti essenziali essere un altro, se non quello che prenderebbe la Via Lattea vista da un punto d'osservazione posto fuori di essa. E neppure manca all'ammasso stellare della Via Lattea la nebulosa compagna più piccola che abbiamo tanto di frequente incontrata nei corpi celesti di questa natura: noi la riconosciamo nelle Nubi di Magellano.

Fig. 179. — Disegno schematico dell'anello della Via Lattea, secondo Proktor.

Proktor cercò una volta già di tracciare una determinata figura di questa immane formazione, e noi la riproduciamo qui, quale mera approssimazione. La spirale disegnata nell'interno è del tutto problematica. Se essa esiste realmente, la figura complessiva rammenta la nebulosa di Orione, colla sua spirale maggiore riprodotta secondo Barnard nella figura 157. Altri fatti si possono dedurre dall'investigazione della distanza e dei movimenti entro a questo immenso complesso di stelle, sui quali però potremo soltanto ritornare nella Seconda Parte di questo Trattato, che si pronunziano del pari in favore di una forma anulare o di una distribuzione a spirale dei corpi celesti in esso.

Noi abbiamo qui dinanzi a noi uno dei fatti più interessanti e meravigliosi della scienza astronomica, in virtù del quale ci riconosciamo quali membri di un grande sistema di mondi, nel quale il nostro Sole, uno tra millioni di suoi eguali, ha una posizione molto più insignificante di quella della Terra entro al nostro proprio sistema solare. Ci avvediamo inoltre che questo sistema di Vie Lattee non è per nulla l'estremo confine dell'Universo, per quanto può giungere la nostra conoscenza, ma che al di fuori del nostro esistono centinaia di sistemi di Vie Lattee, quali individui sussistenti di per sè, a quel modo stesso che si dànno pianeti fuori della Terra e Soli al di là del suo regno. Tutto che è simile, affine, si riunisce in gruppi di ordine sempre più elevato: da questa Terra che noi possediamo e che noi fino al giorno d'oggi fummo avvezzi a chiamare senz'altro il nostro mondo, vediamo sempre più distintamente che un nesso comune avvince e lega tutte le stelle del firmamento inconcepibilmente vasto. Quanto infinitamente lontano si è spinto il nostro sguardo, durante i tre secoli non ancora compiuti, da che il meraviglioso vetro che raccoglie la luce ha atterrato le barriere che fino allora avevano

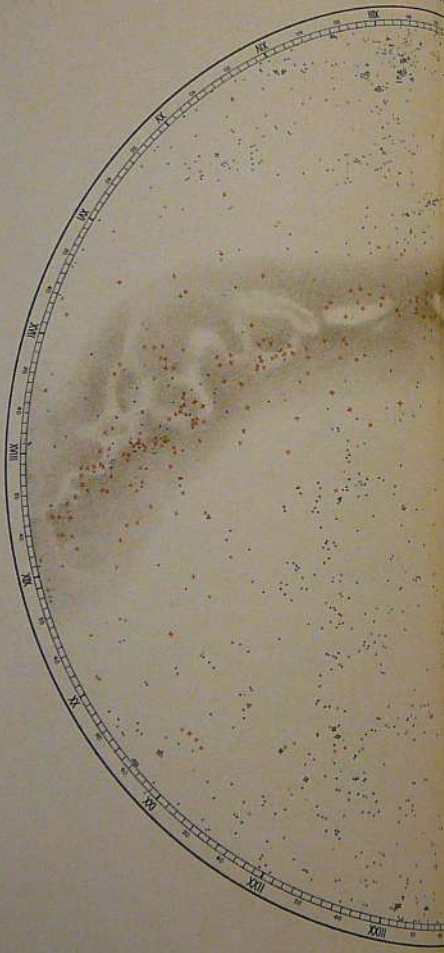
vietato all'umanità di penetrare nei segreti dell'Universo! Non è ancor molto lontano il tempo nel quale l'uomo pensoso cercava i limiti del creato non molto oltre l'involucro aereo terrestre, ed anche oggi non pochi nostri contemporanei non sollevano mai la loro mente oltre questo limite ristretto. Per essi, come altra volta per tutta l'umanità, la Terra è come il centro del mondo il principalissimo fra i corpi celesti. Copernico pose al centro del mondo il Sole invece della Terra; ma ai più rimase sempre inconcepibile che la nostra abitazione dovesse con tutte le sue creature vagare per lo spazio, come gli altri pianeti che da migliaia d'anni, quali tranquilli punti lucenti, percorrono il firmamento. Quanto si rimpicciolisce nelle nostre cognizioni la Terra, e quanto invece s'ingrandisce oltre ogni misura il focolare centrale, attorno al quale noi vedemmo circolare i vecchi pianeti conosciuti e parecchie centinaia d'altri di recente scoperti!

Ma da circa un secolo il Sole stesso cominciò ad essere un po' spostato dalla sua posizione centrale. Con crescente meraviglia ci accorgiamo come esso, con tutto il suo corteo di corpi celesti, nel più ampio ammasso di innumerevoli milioni di stelle che circonda il Cielo come una fascia, non conti di più di una di quelle sfere di fuoco che vagano a schiere nel mondo ristretto del sistema solare. Ma neppure questo regno di Soli della Via Lattea, che sembra estendersi fino all'infinito, e nel quale il nostro Sole è fra i corpi più piccoli posti fuori del centro, neppure questa schiera di Soli che riempie il firmamento, può ancora pretendere a prendere una qualsiasi posizione centrale o distinta nell'Universo immenso. La rassomiglianza meravigliosamente grande della folla di Soli nella Via Lattea che noi, stante la loro apparente piccolezza, possiamo abbracciare completamente collo sguardo, non ci permette più di dubitare che colassù noi abbiamo di nuovo dinanzi agli occhi nuovi sistemi di Vie Lattee, sul cui cielo tutti i milioni di stelle del nostro firmamento si raggruppano e restringono insieme in un scintillante ammasso stellare, quali ne vediamo sparsi a migliaia nello spazio. Ove in questo sciame di Vie Lattee sia quella più importante e notevole, nessuna scienza riesce a decidere, però quell'anello di riunioni e nidi di nebulose che emerge, almeno come indizio, anche sulla nostra carta della distribuzione delle nebulose e degli ammassi stellari, sembra accennare ad un più comprensivo ordine di mondi, nel quale ciascuna delle migliaia dei sistemi di Vie Lattee, che noi vediamo quali nebulose, formano soltanto nuclei luminosi separati, simili a quelli che ora luccicano ed ora scompaiono in quelle nebulose che si trovano al limite della risolubilità. Quanto diviene piccola la Terra, la proprietà onde va superba la razza umana, quanto diviene meschina in quella immensa fuga prospettica di mondi, alla quale Copernico ha aperto la via! In questo grande mondo dei mondi, essa non ha più valore di un atomo che vaga nell'involucro aereo della nostra Terra apparentemente senza scopo, e tuttavia, sospinto da leggi eterne, compie il suo lavoro per l'ordinamento e pel bene del tutto.

Si comprende come non si sia voluto tralasciare di tentare di aver almeno qualche idea all'incirca sufficiente dell'estensione relativa del complesso di Vie Lattee e della distanza delle rimanenti Vie Lattee da noi. Naturalmente non sono più possibili vere misure con metodo geometrico, giacchè a questo riguardo le stesse stelle fisse più vicine offrono le massime difficoltà. Soltanto la distribuzione delle stelle ci può ancora fornire un appiglio per trovare dei valori medi. Ma si

DISTRIBUZIONE DELLE NEBULOSE ED AMMAS

Disegnato secondo il catalogo di Dreyer da Sydney W



Lithographie

…S STELLARI SULL' EMISFERO CELESTE MERIDIONALE

…ari. — La via lattea è riprodotta dall' »Uranometria Argentina«.

…Institut in Leipzig

dovettero per ciò fare delle presupposizioni, le quali rimangono indimostrate; una di esse è quella che in media tutte le stelle di un ammasso stellare, e quindi anche del nostro complesso di Vie Lattee, siano in tutte le parti di esso egualmente distanti fra loro ed egualmente grandi. L'apparente addensarsi delle stelle nella Via Lattea o nell'ammasso stellare è quindi soltanto una conseguenza della prospettiva che fa apparire un intervallo di spazio tanto più piccolo quanto più esso è lontano. Con analoghe presupposizioni, risulta dagli scandagli stellari di Herschel che le stelle più deboli, che egli poteva ancora scorgere nella Via Lattea, debbono essere lontane da noi più di 200 volte quanto lo è una stella di prima grandezza. Ora, poichè la distanza di queste ultime da noi si può almeno con un grado di approssimazione ammessibile, ottenere con metodi geometrici e risulta in cifre rotonde di circa un millione di volte la distanza della Terra dal Sole, così ne deriva che la luce impiega ben 3500 anni per giungere dagli estremi confini della fascia della Via Lattea al nostro occhio. Pertanto le fotografie che oggi noi otteniamo della pallida celeste Galassia, ci rappresentano, stando a quei concetti, non il suo stato attuale, ma quello di tre migliaia e mezzo d'anni or sono.

Ammassi stellari separati, che Herschel esaminò nel modo medesimo, diedero distanze ancora maggiori, e ciò, se le nostre vedute sono giuste, era prevedibile, giacchè in essi noi potremmo avere innanzi a noi delle Vie Lattee fuori della nostra. Herschel accenna ad oggetti di tal fatta, che, avendo riguardo alla loro abbondanza di stelle, sarebbero lontani da noi di circa 1000 distanze stellari. In confronto del massimo diametro della Via Lattea, precedentemente trovato, questa distanza non è grande, ove si pensi che il nostro sistema solare dista dal più prossimo di 200.000 distanze solari, mentre un sistema di Vie Lattee è lontano da un altro di circa cinque volte un suo diametro. Ma Herschel era persuaso che anche le nebulose intieramente irresolubili siano ammassi stellari, ed asserisce che un certo ammasso stellare, nel quale egli potè ancora vedere distintamente i singoli punti luminosi (75 Messier), si mostrerebbe soltanto come una nebulosa, ove esso distasse da noi di 35.000 distanze stellari. Questo corrisponderebbe quindi ad una distanza di 175 diametri della Via Lattea, e la luce non impiegherebbe meno di un mezzo millione di anni per venire di là fino a noi. Se queste conclusioni fossero inoppugnabili, in quelle remotissime nebulose ci starebbero innanzi i più vetusti ricordi di uno stato di cose, trapassato da tempo immemorabile, e l'identità delle azioni ottiche suscitate da quei raggi di luce di tempi morti con quelle prodotte in questo istante da sorgenti luminose alla portata della nostra mano, sarebbe la prova più sicura dell'invariabilità eterna delle forze di natura attraverso al tempo ed allo spazio.

Ma pur troppo le fatte presupposizioni non poterono reggersi intieramente. Già Wilhelm Struve aveva cercato di dimostrare, con sagacissime investigazioni, che la luce viene, durante il suo cammino nello spazio, assorbita, a quel modo medesimo che lo è nella nostra atmosfera, sebbene in misura enormemente minore. Egli aveva dedotto ciò dalla circostanza che il numero delle stelle non aumenta nella stessa misura nella quale diminuisce la loro intensità luminosa. Se si prende per unità d'intensità di luce quella di una data stella, una stella che abbia un'intensità luminosa quattro volte inferiore a questa unità, disterà da noi del doppio della prima, quando, astraendo dalla sua distanza, non vi siano altre cause che

ne indeboliscano la luce. Ammettendo ancora l'ipotesi di una distribuzione in media uniforme, si può facilmente calcolare qual maggior numero di stelle debba trovarsi in quell'àmbito di spazio doppio, rispetto a quello corrispondente alle stelle di unità d'intensità. Ma in realtà il numero delle stelle non aumenta in quella proporzione teoretica, ma invece, secondo Struve, si constata una notevole estinzione della luce stellare; Struve l'ha persino fissata numericamente, e trovò, ad esempio, che l'ultimo raggio di luce che i vapori assorbenti dello spazio celeste lasciano ancora giungere a noi, deve essere stato in viaggio non un mezzo milione, ma soltanto circa 12.000 anni. Qui pertanto starebbero gli ultimi confini, fino ai quali si può spingere l'investigazione umana.

Ogni conoscitore della natura sarà convinto senz'altro che un tale assorbimento della luce al di là del circolo vaporoso della nostra Terra deve realmente avvenire, poichè in nessun posto del mondo nulla si trova di assoluto. Non vi può essere alcuno spazio assolutamente vuoto, assolutamente senza resistenza. Olbers aveva già cercato di dimostrare ciò in una maniera molto impressionante. Egli accampò, come prova, il fatto quotidiano e naturale che si fa buio quando il Sole tramonta. Egli disse cioè, che nell'ipotesi di uno spazio infinitamente grande riempito da un numero infinitamente grande di mondi lucenti, a qualunque punto del firmamento noi rivolgessimo lo sguardo, dovremmo incontrare un raggio di luce proveniente da una stella. I raggi di luce dovrebbero quindi essere fra loro tanto vicini quanto è possibile, cioè il firmamento dovrebbe sempre risplendere come di giorno, e durante il giorno stesso, il Sole non si potrebbe distinguere dal rimanente del cielo. Ora poichè ciò non avviene, così ogni notte che si stende sulla Terra, ci fa vedere che lo spazio celeste deve essere ripieno di qualche cosa che estingue la luce. Recentemente Seeliger ha ripetuto queste conclusioni. Parleremo ancora di ciò nell'ultimo Capitolo della Seconda Parte.

Anche le ipotesi di Struve sono contestabili; giacchè non è possibile l'ammettere nello spazio una distribuzione di stelle in media uniforme, entro ad un anello di Vie Lattee, ordinato secondo un principio evidente. Figuriamoci l'aspetto di una nebulosa anulare che può valere quale forma originale del sistema di Vie Lattee, e vedremo come la distribuzione della materia vada soggetta a divarii sistematici, sia dessa ancora in forma nebulare o già condensata in stelle. Nel mezzo abbiamo una regione più povera d'astri, poi la frequenza cresce rapidamente nell'anello stesso, e quindi tutta la forma finisce in un largo campo, quasi vuoto di materia. Oggi non si può più dubitare che tanto nel percorso della Via Lattea, come nella massima parte degli ammassi stellari che si vedono isolati, le singole stelle non sono solo apparentemente, in causa della loro distanza, in proporzione maggiore, ma in realtà più vicine fra loro che non siano i Soli a noi più vicini, la cui distanza non possiamo con metodi geometrici conoscere alquanto più sicuramente. Diviene pertanto in pari tempo probabile che questi Soli, fra loro più vicini, siano anche notevolmente più piccoli di quei corpi celesti che con noi occupano lo spazio interno dell'anello. Con ciò cadono tutte le presupposizioni sulle quali noi avevamo costrutto la probabilità delle conclusioni sull'estensione della nostra Via Lattea, quale isola cosmica, e sulla distanza delle altre.

Dobbiamo quindi ammettere che noi siamo oggi più lontani dalla soluzione del problema galattico, di quanto credesse di essere Herschel 100 anni or sono.

Possiamo per contro asserire con sufficiente sicurezza che i rapporti di grandezza, quali furono dati da quello straordinario osservatore, si sono notevolmente impiccioliti. Per accostarci quindi alla verità, ne è d'uopo battere altra via. Le variazioni delle posizioni reciproche di questi punticini luminosi che noi possiamo, nel momento presente, fissare fotograficamente, e quando durante parecchi secoli le loro immagini luminose siano state ripetutamente rilevate, daranno le sole conclusioni sicure sulla vera grandezza e reciproche distanze dei singoli astri dell'immane sistema, e quindi anche sulla sua costituzione generale.

18. — Le Stelle doppie.

La meravigliosa concordanza di tutti i tratti fondamentali dell'Universo stellato, per quanto noi possiamo intravvederli, che si manifestò anche particolarmente nella forma dell'ammasso stellare della Via Lattea, fa nascere la questione se non sia possibile il trovare altri tratti di esso concordanti con fatti scoperti nel mondo ristretto del nostro sistema solare. Ci interesserebbe particolarmente di sapere, se alcuni o tutti quelli innumerevoli Soli lontani siano circondati da stelle Terre, sulle quali come sulla nostra possiamo congetturare la vita e l'intelligenza. L'astronomia ci ha predicato in tutta regola ed a sufficienza la modestia, pur tuttavia non possiamo liberarci dall'intima persuasione, che questa intelligenza, fin nel suo più elevato e da noi non ancora presentito sviluppo, deve essere lo scopo ultimo di tutta la natura, ed in questa convinzione ci riesce inconcepibile, che tutti quei millioni di Soli debbano irradiare nel vacuo dello spazio la loro luce ed il loro calore senza utilità per la Vita.

Però dobbiamo guardarci dall'attribuire a tali conclusioni del sentimento, più peso che non occorra per guidare le nostre esplorazioni in una determinata direzione, giacchè come si comprende la questione della finalità, dato che un tal piano esista nell'ordine della natura, non può essere posta da esseri che possono vedere, come noi, soltanto una così minima parte di tutto l'Universo. Nel caso speciale delle stelle fisse si potrebbe pur anche pensare che un grandissimo numero di esse debba servire a mantenere lo spazio celeste ad una data temperatura superiore a quella dello zero assoluto. E per fermo a ciò si richiede una produzione immensa; infatti la temperatura dello spazio non è molto differente da 100 gradi sotto zero, per contro lo zero assoluto sta a — 273 gradi, quindi sono ben 100 o 150 gradi che devono essere ceduti dalle stelle allo spazio, ed anzi meglio che furono ceduti. D'altra parte, quando vedemmo che il nostro Sole comunica ai pianeti meno della millemillionesima (α) parte della sua energia totale, tal proporzione ci sembrò essere estremamente poco economica, ma ora che sappiamo che nello spazio sono distribuite migliaia di millioni di altri Soli, dobbiamo cambiare intieramente la nostra opinione: in questo immenso ammasso di mondi si verifica

(α) [A scanso di equivoci si rammenti che la millemillionesima parte è l'unità divisa per mille millioni, cioè 1 : 1.000.000.000. (O. Z. B.)].

per necessità uno scambio continuo di energia. Ciò che a noi vien trasmesso dal nostro Sole, come calore raggiante, noi restituiamo agli altri Soli, mentre essi producono nei nostri dintorni una temperatura generale sopportabile, che ci è tanto necessaria, quanto lo è la temperatura media ad una zona terrestre, alla quale s'associano ancora le mutevoli azioni diurne orarie dell'irradiazione solare diretta.

Ora sono dessi quei Soli circondati da pianeti cui giovino tanto i benefizii della comunità, quanto quelli dell'astro che particolarmente li governa? Se noi prendiamo la denominazione di *pianeti* nel nostro senso ristretto, col quale intendiamo corpi oscuri che possono albergare sulla loro superficie esseri intelligenti secondo i nostri concetti, allora di essi potremo aver notizia solo in pochissimi casi, dei quali alcuni saranno descritti nel Capitolo seguente; poichè in essi manca la luce, il solo messaggiero che possa renderceli noti. L'illuminazione prodotta sovra di essi dal loro Sole, è troppo debole, perchè noi la possiamo mai avvertire. Ma quasi come se questa notizia non ci dovesse venir vietata, noi c'imbattiamo in Soli, che girano l'uno attorno all'altro, come farebbero i pianeti cercati; stelle doppie ed interi sistemi di corpi celesti lucenti di luce propria emoventisi attorno ad un centro comune.

Già ora è un secolo e più, il matematico inglese Michell aveva istituito un calcolo di probabilità sulla questione, se le cinque stelle che egli poteva discernere nelle Pleiadi, fossero fra loro vicine soltanto per caso ovvero si dovessero riguardare come aventi fra loro una connessione fisica, e giunse al risultato che in favore dell'ultima supposizione si poteva scommettere cinquantamila contro uno. Nel frattempo Cristiano Mayer in Mannheim aveva trovato più di 100 stelle fisse satelliti, come egli le chiamò, che stavano ancora più vicine alla loro stella principale, che le cinque stelle delle Pleiadi. Poco dopo William Herschel scoprì molte altre stelle doppie, il cui numero nel 1804 era già salito ad 846. È notevole come questo infaticabile osservatore non si sia subito potuto convincere che queste stelle debbono stare fra loro in mutua connessione fisica; ma se ne sia persuaso solo col continuo crescere delle sue scoperte. Dopo di lui si fu Guglielmo Struve che attese per molti anni alla misura di tali coppie di stelle doppie, e che fece quasi còmpito di sua vita questo studio interessante. Il suo catalogo di stelle doppie non contiene meno di 2641 stella, fra doppie e multiple, nelle quali il compagno più debole non è inferiore alla nona grandezza, e la massima distanza fra la stella inferiore e quella principale non sale a più di 32″. Da quell'epoca in poi il numero delle stelle doppie è cresciuto di molto; i potentissimi cannocchiali dei giorni nostri hanno poi fatto trovare dei sistemi di stelle doppie estremamente stretti, nei quali il compagno dista dalla stella principale solo poche parti di un secondo d'arco, così che per cannocchiali meno potenti esso si perde completamente nei raggi di quella. Burnham col cannocchiale di 36 pollici dell'Osservatorio Lick ha scoperto un gran numero di tali coppie di stelle enormemente strette; nel 1892 egli pubblicò un catalogo di 1274 stelle doppie da lui scoperte, che appartengono tutte alle più strette conosciute. Oggi si conoscono complessivamente in Cielo 10.000 coppie di stelle doppie (*a*).

(*a*) [Rammentiamo che questo ramo dell'astronomia stellare fu ed è molto coltivato in Italia da Giovanni Schiaparelli all'Osservatorio di Brera in Milano, e che v'attese pure il barone

Struve aveva diviso le stelle doppie in otto classi che sono ordinate secondo la loro mutua distanza. Così, ad esempio, alla prima classe appartengono le stelle fino ad 1″ di distanza, all'ottava quelle da 24 a 32″. È chiaro, che quando queste stelle si trovino vicine solo per caso, mentre realmente il così detto compagno, sta all'incirca sulla medesima visuale ma molto avanti o dietro alla stella principale, e le stelle sono quindi doppie otticamente ma non fisicamente, il loro numero deve crescere coll'aumentare della loro mutua distanza; poichè qui si tratta soltanto di una coincidenza accidentale, ciò diviene tanto più improbabile, quanto più la coincidenza è esatta. Ma una diminuzione corrispondente della frequenza non si constata in modo veruno nelle stelle doppie. Colla distribuzione uniforme delle stelle sulla vôlta celeste in un àmbito da 0 ad 8″ attorno ad una stella principale, si dovrebbero trovare quattro volte più stelle, che sopra una superficie da 0 a 4″, poichè la prima è quattro volte maggiore della seconda, e così via, di guisa che, quando noi per unità di frequenza delle stelle prendessimo quella che corrisponde alla distanza 0—4″, che corrisponde alle prime tre classi di Struve, noi dovremmo incontrare da 0—8″ il quadruplo di stelle, fino a 16″ già 16 volte tante stelle quante ne sono contenute nell'unità fino a 32″, 64 volte l'unità di stelle, e così di seguito. La tabella seguente dà i reali rapporti numerici delle stelle doppie, secondo le classi di Struve.

Numero delle stelle doppie secondo le classi di Struve.

Numero	Distanza	Dupl. lucidae	Dupl. reliquae	Somma	Numero delle stelle doppie stiche
1	0— 1″	62	29	91	0,007
2	1— 2″	116	198	314	0,023
3	2— 4″	133	402	535	0,039
4	4— 8″	130	452	582	0,358
5	8—12″	54	298	352	0,596
6	12—16″	52	179	231	0,835
7	16—24″	54	429	483	2,384
8	24—32″	52	429	481	3,338

Le prime colonne dànno il numero delle stelle doppie, ancora distinte nelle sottoclassi *lucidae* e *reliquae*, a seconda che il compagno è più lucido o più debole dell'ottava grandezza. La colonna successiva contiene la somma delle due sottodivisioni, ed a questa ne tiene dietro una contenente un numero trovato teoricamente che esprime quante stelle dovrebbero ancora trovarsi alla rispettiva distanza fra loro vicine secondo il calcolo della probabilità, quando si ponga uguale a 40.000 il numero di tutte le stelle fino all'ottava grandezza. Da questo risulta che da 0 a 12″ dovrebbe esistere soltanto una stella doppia contro 1874 realmente esistenti secondo il catalogo di Struve, e così di seguito.

Dembowscki, che osservava in Lombardia, e le cui osservazioni furono pubblicate dall'Accademia dei Lincei, a cura dello Schiaparelli medesimo. Ad esso consacra pure fruttuosamente parte del suo tempo Giovanni Celoria, nel medesimo Osservatorio di Brera in Milano.
(Nota di O. Z. B.)].

Qui, contro la probabilità di una coincidenza ottica, si presenta come molto convincente il fatto del crescere appunto delle stelle doppie strette. Ma l'osservazione moderna, ha rinforzato di molto questa proporzione, giacchè negli ultimi diciannove anni vennero scoperte quasi esclusivamente ancora stelle doppie strette.

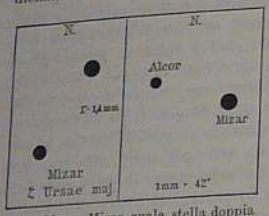


Fig. 180. — Mizar quale stella doppia con Alcor.

Fra le stelle più lucide, le quali quindi in media ci sono più vicine, e nelle quali pertanto noi possiamo più facilmente scoprire un compagno, se esiste, per quanto oggi si sa, ogni due o tre ve ne è una doppia; quindi i Soli doppi non debbonsi più riguardare come *fenomeni eccezionali* nel mondo delle stelle fisse, ma bensì come *oggetti tipici* di esso. Però il numero delle stelle doppie diminuisce rapidamente, man mano che noi scendiamo a classi di minor grandezza. Questa circostanza viene ad apportare un argomento di più in favore della persuasione nostra, che la duplicità o la molteplicità delle stelle sia preponderantemente di natura fisica. Valga il vero: in questo caso debbono venir fissati certi limiti alla distanza mutua dei Soli assieme uniti, ed al crescere della lontananza da noi essi devono di necessità fondersi in un solo, mentre una coincidenza puramente ottica di due stelle, non può stare in alcun rapporto colla loro distanza. Le stelle doppie ottiche sono egualmente probabili per ogni classe di grandezza.

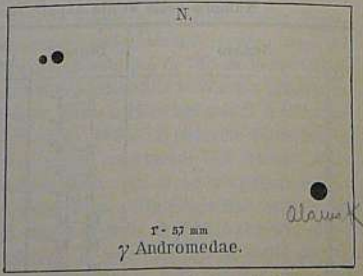


Fig. 181. — La stella tripla γ Andromedae.

Nel resto la distribuzione delle stelle doppie in cielo è complessivamente e all'ingrosso concordante con quella delle stelle semplici. Dove incontriamo più numerose stelle, come ad esempio verso la Via Lattea, anche le doppie sono fra esse più frequenti. Da ciò vediamo anche che la natura di stella doppia non è fuori del consueto, non è speciale soltanto di una particolare categoria di corpi celesti, ma forma uno stadio di evoluzione del tutto normale, del quale ci è lecito supporre che venga attraversato una volta da tutte le stelle, altrimenti non ve ne sarebbero tante che stanno contemporaneamente in questo stadio.

Benchè, come è naturale, le stelle doppie non abbiano potuto venir conosciute che dopo l'invenzione del cannocchiale, giacchè una distanza delle due singole stelle (componenti) che la costituiscono, e che rende possibile la loro scoperta ad occhio nudo, doveva rendere sempre più improbabile la loro connessione fisica, pure alcune di esse sono fra gli oggetti più facilmente avvertibili nei piccoli cannocchiali e perciò più giovevoli. In questo numero sta in prima linea la stella, facilmente reperibile, ζ della Grande Orsa, la stella mediana del timone del ben noto

Carro Celeste. Gli Arabi la chiamarono Mizar (fig. 180). Affatto vicina ad essa, ad occhio nudo si vede una debole stellina, Alcor, il Piccolo Cavaliere, la quale però ne dista già troppo, per poter essere riguardata nel nostro senso, come una stella unita a Mizar. Quest'ultima stella, nei cannocchiali con un obiettivo del diametro di un pollice, si scinde in due punti irradianti luce bianca, del quale il secondo è di quarta grandezza e dista di 14″ dalla stella principale. Un aspetto ancora più attraente n'è offerto dalla stella doppia γ Andromedae (fig. 181), che si trova pure facilmente, e la cui stella principale di terza grandezza, risplende di luce dorata, mentre assai vicina ad essa, a 10″ di distanza, sta una stella pure doppia intensamente azzurra e di quinta grandezza, che forma un mirabile contrasto colla tinta della stella principale. Il godere della vista di questo paio di gemme incastonate nel buio del firmamento è concesso sempre agli amici dell'astronomia, aventi a loro disposizione anche soltanto deboli mezzi ottici.

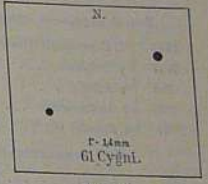


Fig. 182.
La stella doppia 61 del Cigno.

È poi molto facile il risolvere la copia stellare β Cygni (fig. 182). Essa fu la prima della quale si sia fatta menzione nell'astronomia di misura: Hevelio nell'Osservatorio " Stellaeburgum " che si era costrutto per proprio conto in Danzica nell'anno 1659, misurò per la prima volta la distanza delle due stelle quasi egualmente lucenti e di quinta grandezza. Oggi è di circa 20″. Dipoi questa copia di stelle è divenuta una delle più famose della sua specie, particolarmente anche perchè fu riconosciuta come uno dei sistemi solari più vicini a noi. La stella ε della piccola costellazione del Piccolo Cavallo (fig. 183), che sta alquanto a Nord dell'equatore celeste fra l'Acquario e l'Aquila, è una di quelle che appena si possono ancora separare con un cannocchiale di un solo pollice di apertura. La stella principale è di grandezza 5,6, il suo compagno di settima grandezza dista da essa di 10—11″. L'oggetto è tanto più interessante, inquantochè nei grandi istrumenti, esso si mostra come un sistema triplo, giacchè la stella principale si scinde in due stelle quasi egualmente lucide e vicinissime fra loro (0,4″).

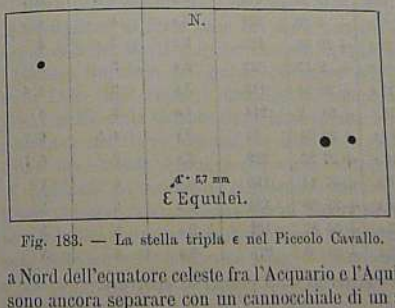


Fig. 183. — La stella tripla ε nel Piccolo Cavallo.

La separazione di stelle doppie strette, serve all'astronomo pratico come uno dei migliori mezzi per saggiare il suo cannocchiale. Noi sappiamo che in un buono istrumento le stelle devono per quanto è possibile apparire senza diametro. Ma se ciò non avviene, i due dischi delle stelle allargandosi verranno a sovrapporsi, ed una stella doppia di una data distanza non lascierà più scorgere i suoi componenti separati. Diamo qui un elenco di *oggetti di saggio* per piccoli cannocchiali. Così ci risparmiamo un'ulteriore numerazione di stelle doppie, in quanto ad esse non si connettono considerazioni speciali.

Elenco di stelle doppie come oggetti di saggio per piccoli cannocchiali.

Catalogo di Struve	Stella	1889 Ascensione retta	1889 Declinazione	1889 Angolo di posizione	1889 Distanza	Grandezza della stella principale	Grandezza del compagno
Per il saggio di cannocchiali con obiettivo di un pollice di apertura.							
1744	ζ Ursae maj. (Mizar)	13h 19,4m	+55° 30′	148°	14,3″	2	4
2727	γ Delphini . . .	20 41,5	+15 42	271	11,2	4	5
180	γ Arietis	1 47,4	+18 43	359	8,5	4	4. 5
205	γ Andromedae . .	1 57,0	+41 48	63	10,3	3	5
2737	ε Equulei (C) [1] . .	20 53,4	+ 3 52	74	10,7	5. 6	7
Per cannocchiali con obiettivi di 2—3 pollici di apertura.							
1998	ξ Librae (C) . . .	15h 58,3m	−11° 3′	64°	7,5″	5	7
1864	π Bootis	14 35,5	+16 54	104	6,0	5	6
1110	α Gemin. (Castor) .	7 27,5	+32 8	230	5,8	2. 3	3. 4
1965	ζ Coronae	15 35,2	+37 0	302	6,3	4	5
1196	ζ Caneri (C) . . .	18 5,8	+17 59	131	5,4	5	5. 6
1670	γ Virginis	12 36,0	− 0 50	337	5,0	3	3
2140	α Herculis	17 9,6	+14 31	117	4,7	3	6
1888	ξ Bootis	14 46,3	+19 34	279	4,2	4 5	6. 7
2909	ζ Aquarii	22 23,0	− 0 35	329	3,4	4	4
1954	δ Serpentis . . .	15 29,5	+10 55	185	3,3	3	4
202	α Piscium	1 56,2	+ 2 13	322	2,9	3	4
1424	γ Leonis	10 13,8	+20 24	113	3,5	2	3. 4
2032	σ Coronae	16 10,5	+34 9	214	4,0	5	6
2382	ε¹ Lyrae (4) . . .	18 40,7	+39 34	14	3,1	4. 5	6. 7
1877	ε Bootis	14 40,1	+27 33	329	2,8	3	6. 7
60	η Cassiopejae . .	0 42,3	+57 14	160	5,0	4	7
2383	5 Lyrae (ε²) . . .	18 40,7	+39 30	134	2,5	5	5
2130	μ Draconis . . .	17 3,0	+54 37	161	2,4	5	5
1523	ξ Ursae maj. . . .	11 12,2	+32 9	275	2,0	4	5
Per cannocchiali con obiettivi di 4—5 pollici di apertura.							
2262	τ Ophiuchi (C) . .	17h 56,9m	− 8° 10′	255°	1,8″	5	5. 6
2055	λ Ophiuchi . . .	16 25,3	+ 2 14	35	1,6	4	6
73	36 Andromedae . .	0 48,9	+23 2	7	1,3	6	7
948	12 Lyncis (A, B) . .	6 36,3	+59 34	124	1,5	5	6
333	ε Arietis	2 52,9	+20 53	201	1,6	5. 6	6
299	γ Ceti	2 37,4	+ 2 46	292	2,8	3	7
1865	ζ Bootis	14 35,8	+14 13	295	0,8	3. 4	4
460	49 Cephei	3 51,2	+80 23	37	0,7	5	6
262	ι Cassiopejae (A, B) .	2 19,9	+66 54	264	2,0	4	7

[1]) Nei sistemi tripli C denota il secondo compagno più lontano dalla stella principale, B il primo, cioè quello più vicino.

La possibilità di separare una stella doppia non diviene soltanto minore al diminuire della distanza, ma anche e segnatamente al crescere della differenza di luce delle stelle componenti. Una stella molto lucida, guardata anche coi migliori cannocchiali, lascia scorgere intorno a sè un'aureola estesa. Quando, ad esempio, Sirio si avvicina soltanto al campo di visione del grande refrattore di Vienna, essa è preceduta quasi come da un'aurora, e l'ingresso nel campo ferisce nel primo momento l'occhio, come se guardasse direttamente al Sole stesso. Questo chiarore delle vicinanze della stella è solo in minima parte effetto dell'istrumento, ma bensì realmente un fenomeno di natura crepuscolare, che si manifesta a cagione dell'illuminazione diffusa dell'atmosfera, al passaggio della luce stellare. Ma in questo crepuscolo scompaiono le stelle più piccole, non diversamente da quanto avviene prima del levar del Sole. Sirio possiede realmente un compagno, che se fosse solo sarebbe facilmente visibile nei cannocchiali di medie dimensioni come stella di nona grandezza; e se non stesse accanto ad un così potente rivale la sua distanza dalla stella principale, che salì sino a 10″, ne farebbe un oggetto facilmente separabile, mentre per contro esso appartiene in realtà agli oggetti più difficili di questa categoria, particolarmente nell'epoca presente nella quale la distanza è divenuta un minimo. Questo compagno di Sirio fu, come il pianeta Nettuno, preannunziato teoricamente, sul che ritorneremo.

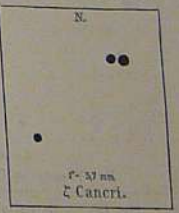


Fig. 184.
Il sistema triplo ζ nel Cancro

Però per i giganti fra i moderni cannocchiali, anche la separazione di Sirio nelle sue stelle componenti non è più difficile. Ma il maggior successo in questo campo l'ottenne Burnham col grande refrattore dell'Osservatorio Lick. Egli riuscì a scoprire un compagno della prima stella nella Grande Orsa, la superiore nella parte posteriore del Carro Celeste, che dista dalla sua stella principale di non intieramente un secondo d'arco, e che a sua volta è soltanto di undicesima grandezza.

Abbiamo già sopra fatto menzione di due stelle triple. Anche queste sono relativamente non rare; nel catalogo di Struve ne sono segnate 113. Fra queste ve ne sono 57, nelle quali la distanza più grande non supera 32″, e nelle quali nessuna delle tre stelle oltrepassa di molto l'ottava classe di grandezza. ζ *Cancri* forma il più famoso di questi sistemi tripli (fig. 184), che a motivo dei movimenti proprii ha particolarmente attratta l'attenzione dei teorici. Poichè le sue componenti sono ad un dipresso del medesimo splendore ($5{,}_0$, $5{,}_7$ e $5{,}_8$, in classi di grandezza) ed il compagno più lontano dista di 5″ dalla stella principale, così l'oggetto si appalesa facilmente come stella doppia. È più difficile il separare il compagno più vicino dalla stella principale: la loro distanza oltrepassa appena 1″. Struve conta nove sistemi quadrupli. Altra volta si doveva annoverare fra essi il *Trapezio nella nebulosa di Orione* (fig. 185), tante volte nominato in altra occasione. Anche nei piccoli cannocchiali si notano queste quattro stelle, il cui splendore sta fra la quarta, quinta ed ottava grandezza, e che son raggruppate in un cerchio di 10″. Più tardi si scoprirono ancora due tenui stelline, e di recente si credette di averne visto una settima. Noi avremmo quindi qui a che fare con un sistema settuplo formatosi in mezzo di quel gran mondo nebulare.

Alle stelle quadruple si possono anche ascrivere ε^1 e 5 Lyrae (fig. 186). Le componenti della stella doppia più settentrionale hanno le grandezze 4,6 e 6,2 e distano fra loro di 3,8″. La seconda si trova a circa 200″ più a Sud della prima. Il suo aspetto è quasi uguale a quello della prima: le componenti sono rispettivamente di grandezza 4,9 e 5,2 e distano di 3″. Questo bell'oggetto che è facilmente visibile già coi più piccoli cannocchiali di 2 o 3 pollici di apertura, si trova senza difficoltà nelle vicinanze della splendente Vega. Certi movimenti comuni presentati da ambe le stelle, rendono probabile che le quattro stelle siano realmente fra loro dipendenti, vale a dire non siano vicine soltanto per caso, benchè separate da una distanza così notevole. Fra le due coppie di stelle doppie si notano ancora tre stelline molto deboli sotto la nona grandezza, le quali però non appartengono al sistema, ma stanno lontane dietro di esso. Struve menziona due sistemi quintupli ed un sistema sestuplo; quest'ultimo, che si trova nella Lepre, fu da Burnham dimostrato essere un sistema ottuplo, colla scomposizione di due stelle componenti; finalmente Struve parla ancora di un sistema settuplo. Evidentemente non è possibile trovare in questa direzione un limite superiore, giacchè per ultimo le stelle multiple trapassano poco per volta in gruppi stellari, come le Pleiadi, e queste a loro volta in ammassi stellari dei quali sonvene di quelli addensatissimi.

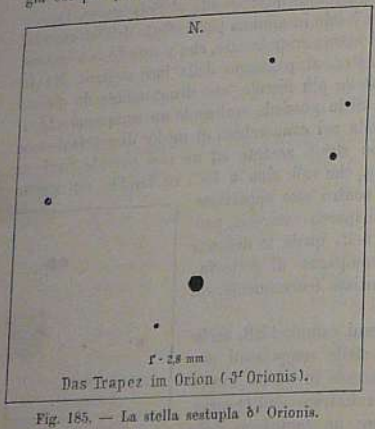


Fig. 185. — La stella sestupla ϑ^1 Orionis.

La giustificazione più preponderante della dottrina che riguarda queste stelle composte quali sistemi stellari, è pur sempre il fatto del loro comune movimento, che assicura la loro connessione permanente. Per i grandi gruppi, come le Pleiadi, noi troveremo più tardi un'altra conferma, in un eguale movimento proprio attraverso lo spazio. In un gran numero di stelle doppie è stato dimostrato in modo indiscutibile un movimento circolare attorno ad un centro comune, così che in essi noi vediamo sicuramente dei corpi celesti che non si differenziano dai pianeti del nostro sistema solare se non perchè risplendono di luce propria. Esporremo più tardi le particolarità di questo moto circolare; a scopo di chiarezza ora accenniamo soltanto che in circa quaranta casi questo movimento è stato fissato col calcolo, così esattamente da permetterci di indicare fin d'ora, per secoli, la reciproca variabile posizione delle due stelle, tanto esattamente quanto lo può verificare la nostra arte di misurare le grandezze celesti.

Flammarion afferma che dopo la loro scoperta 13 stelle hanno girato attorno al loro centro comune di più di 360 gradi, 5 più di 270, 10 più di 180, 15 più di 90, 21 più di 45 e 92 più di 20; in altre 663 coppie di stelle, un movimento

circolare fu riconosciuto senza incertezze. La più breve rivoluzione ha una durata di 11 anni e mezzo, quindi quasi eguale a quella di Giove. Essa è stata determinata da Burnham per la stella δ nel Piccolo Cavallo. Le due stelle componenti distano fra loro appena di un mezzo secondo d'arco, così che solo coi migliori strumenti vien fatto di separarle. Altre due stelle doppie molto strette hanno similmente rivoluzioni di breve durata, che non raggiungono neppure quella di Saturno. Se noi supponiamo che nei sistemi di stelle doppie dominino le condizioni stesse che nel nostro sistema solare, non deve più meravigliarci che le più brevi durate di rivoluzione corrispondano anche alle minime distanze dei corpi. Se verranno anche scoperte altre stelle doppie che con durate di rivoluzioni maggiori pur palesino fra le loro componenti distanze molto piccole, ciò dovrà riguardarsi come una conseguenza della distanza da noi notevolmente maggiore. Fra tutte le stelle, che noi possiamo esaminare per il rispetto della distanza, quella più vicina a noi è la prima stella del Centauro, che disgraziatamente non è più visibile nelle nostre latitudini: essa è anche la stella doppia più larga fra quante mostrano un moto di rivoluzione accertato. α *Centauri* è, per lo splendore, la terza stella di tutto il firmamento ed il suo compagno è di seconda grandezza. La massima distanza cui questo compagno può giungere dalla sua stella principale è di circa 18″; con ciò essa è la più splendida e più bella stella doppia che noi conosciamo. Le due stelle girano attorno al comune centro di gravità in 80—81 anno, cioè in un tempo pressochè uguale a quello che Urano impiega a girare attorno al Sole. Altre durate di rivoluzione accertate, salgono fino a circa quella di Nettuno, cioè in cifre rotonde a circa 200 anni. Giova avvertire che con γ *Leonis*, σ *Coronae* ed α *Geminorum* (Castore) furono calcolate durate di rivoluzione rispettivamente di 400, 800 e 1000 anni; però l'esattezza delle osservazioni finora esistenti non basta a restringere entro limiti prossimi queste cifre.

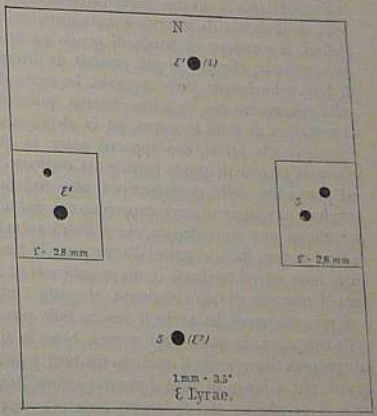


Fig. 186. — ε della Lira come stella quadrupla.

In ogni caso però generalmente si conferma che nei sistemi di stelle doppie prevalgono, per quanto concerne la durata delle rivoluzioni, delle condizioni simili a quelle del sistema solare. Non deve stupire che in quei Soli lontani non si constatino direttamente delle brevi durate di rivoluzione, giacchè gli altri ci provano che i nostri mezzi ottici non valgono a farci distinguere quei satelliti, che analogamente a quanto succede pei pianeti, devono stare molto vicini alla loro

stella principale. Inoltre noi possiamo, con buone ragioni, supporre che i satelliti più vicini siano, come presso di noi, i più piccoli, e che perciò ci debbono rimanere nascosti.

La differenza essenziale che rimane pur sempre fra questi sistemi di stelle ed il nostro sistema solare, è quella della luminosità propria dei satelliti delle stelle fisse. Ma questa circostanza ne fornisce precisamente una delle più importanti indicazioni per la nostra istoria dell'evoluzione degli astri, quale crediamo di aver letta, decifrandola dalle forme e dalla distribuzione delle nebulose e degli ammassi stellari. Il carattere essenziale di questa evoluzione era il progressivo condensarsi della materia, che per lo più procede da diversi centri, così che si generano nodi di luce e finalmente stelle separate. La forma della nebulosa ci ha fatto parecchie volte riconoscere che un'azione esterna qualsiasi aveva cagionato un movimento di rotazione di tutta la massa, ed in alcuni casi trovammo esistere una nebulosa compagna alla prima, che apparve poter in qualche modo venir sospettata di essere la cagione di questo movimento vorticoso. Che che ne possa essere in realtà, col progredire della condensazione una così fatta nebulosa a spirale colla sua nebulosa compagna diverrà dapprima una nebulosa planetaria doppia, e formerà per ultimo una stella doppia, che paleserà un movimento di rivoluzione nel senso di quel vortice. Raffiguriamoci d'altra parte la condizione del nostro sistema solare quale deve essersi verificata in un passato non di soverchio remoto, da quando cioè dura il processo di raffreddamento, al quale i pianeti vanno certamente soggetti, e ci persuaderemo che anche il nostro Sole possedette altra volta in Giove una stella compagna, la quale oggi ancora, come fu chiarito almeno probabile, irradia luce propria. Giove, come il massimo fra tutti i pianeti, dovette ad ogni modo conservare più a lungo di tutti il proprio calore. Risalendo nel tempo per un certo tratto ci avvediamo che il nostro Sole era una stella tripla o multipla, e ciò quando Saturno e gli altri pianeti risplendevano ancora di luce propria. Anche la nostra Terra deve altra volta essere stata un Sole; giacchè le roccie più profonde colla loro struttura ne indicano che essa fu altra volta in uno stato d'incandescenza e liquida.

Dopo che lo studio del Cielo stellato ci ha fornito la prova che tutte le stelle sono Soli, e ci siamo fatti convinti del posto che fra esse a noi compete, ci venne fatto di scoprire alcuni di quei vincoli più stretti che legano il nostro mondo terrestre come pianeta al suo potente astro centrale. Passo passo siamo dai suoi ultimi confini saliti nel gran mondo dei mondi e là sulla soglia dell'infinito, ritroviamo dei mondi affini. Nessun fatto di osservazione ci vieta di credere, che questa energia raggiante della miriade di Soli, che popolano sì densamente lo spazio, non abbia ovunque prodotto il vago fiore della vita accompagnato a quello dell'intelligenza.

Ma d'altra parte, non dobbiamo neppure meravigliarci, se occasionalmente c'imbattiamo in tratti strani, che a tutta prima non possiamo capire, e che dànno a quei mondi un'impronta che solo molto incompletamente ci possiamo rappresentare. A questi mondi appartengono le stelle doppie, le cui componenti sono di colore molto diverso. È già per noi molto difficile il trasportarci col pensiero in un mondo, sul cui firmamento si levano e tramontano due o più Soli, lo è poi tanto più il raffigurarci il fantastico avvicendarsi di colori in un mondo,

nel quale questi Soli irradiano luci di tinta diversa. Quando in quel mondo sta sull'orizzonte il Sole rosso soltanto, il paesaggio si tinge delle tinte dalla calda intonazione del rosso dei nostri mattini e delle nostre sere. Quando poi si leva il secondo Sole, quello verde, tutte le cose getteranno due ombre, ma queste ombre non saranno nere, bensì colorate, in verde quella prodotta dal Sole rosso, l'altra in rosso, e tutte le rimanenti ombre nella località, anche quando di per sè saranno incolore, appaleseranno i più curiosi trapassi fra queste tinte, secondo che la forma del loro volume presenta maggiore o minore superficie all'uno od all'altro corpo illuminante. Una scala indescrivibile di tinte deve deliziare quei felici che colà possono vivere e vedere. Incoloro, bianco, oscuro sono colà concetti quasi sconosciuti. Il computo del tempo si divide in rosso e verde, od in giorni con una o con due ombre, le stagioni con uno o con due Soli, secondo che la posizione lentamente variabile dei due astri irradianti luce e calore raddoppia i benefizi di essi, o separa le loro azioni.

Dopo questo volo nel variopinto mondo di altri pianeti nel regno dei Soli doppii, nel quale ci eravamo lanciati guidati dal fantasioso Littrow, ritorniamo al nostro posto terrestre di osservazione. Questo presentarsi relativamente assai frequente di stelle doppie di diverso colore solleva parecchie difficoltà, se vogliamo ordinare anche esse secondo la nostra serie di evoluzione. Si deve tuttavia ammettere che ogni tal coppia di stelle si sia sin dal principio della sua costituzione venuta formando sotto circostanze esterne uguali, e che poi la minore delle due stelle abbia percorso più rapidamente dell'altra i varii stadii dell'evoluzione, giacchè essa si raffredda più rapidamente. Giove, che a termini dell'opinione espressa più sopra, formava altra volta una stella doppia col Sole, è oggidì un corpo ad un dipresso oscuro, e soltanto certe manifestazioni insolite, come la macchia rossa, della quale discorremmo a lungo, accennano all'eruzione superficiale di materie calde al rosso incandescente. Giove quindi fu certo altra volta un compagno rosso del Sole che irradia luce bianca. Ci è quindi permesso di ritenere che il Sole, quale stella principale, fu in tempo remotissimo tinto ancora più in azzurro che in giallo, come lo è ora, almeno quando si supponga che da quell'epoca esso sia andato soggetto ad un processo di raffreddamento; giacchè, secondo le nostre congetture precedenti, le stelle azzurre, quelle del tipo di Sirio, appartengono ad una epoca di evoluzione più primitiva che non quella delle stelle gialle del tipo del Sole. A dire il vero però, nel capitolo sul Sole noi abbiamo veduto che gli attuali dati d'osservazione non ci consentono di decidere, se il compenso alla perdita del calore solare, fornito dalla sua progressiva condensazione, non sia oggi ancora maggiore di quella perdita stessa, di guisa che presentemente il Sole non s'incammini verso lo stadio di stella rossa, ma piuttosto verso quello di stella azzurra.

Sia quel che ne può essere, le nostre vedute ci condurranno sempre a ciò che nelle stelle doppie a componenti di vario colore, i compagni rossi devono sempre presentarsi più frequentemente, giacchè essi come i corpi più piccoli devono essere giunti più rapidamente allo stadio del colore rosso. La differenza di colore cresce infatti notevolmente, quanto più spiccata è la differenza di classe di grandezza fra la stella principale e la secondaria, e ciò s'accorderebbe intieramente colle idee fin qui esposte. Ma nel tempo medesimo si constata che le tinte dei compagni tendono con preponderanza verso l'estremo violetto dello spettro, e quelle

delle stelle principali, per contro, verso il rosso. Noi non possiamo ora chiarire questa strana deviazione e neppure ci libereremo da questa difficoltà, con lo spiegare, come si faceva una volta, il presentarsi frequente nelle coppie di stelle di tinte complementari, quale un'illusione ottica. Si può però istituire facilmente un esperimento che dà alimento a questa congettura, e ciò nel modo seguente. Accanto ad una sorgente di luce rossa si disponga un pezzo di carta bianca in guisa che esso possa soltanto venir colpito da luce bianca; esso ci sembrerà allora decisamente verdastro, la tinta complementare si manifesterà per azione di contrasto nella nostra retina. Non si può contestare che effetti simili possano rinforzare la differenza di tinta nelle stelle doppie, ma non bastano da soli a spiegarle, perchè assai frequentemente si presentano anche altre tinte non complementari. Finalmente un esperimento decisivo affatto è quello di coprire nel campo di visione una stella; se la tinta dell'altra è solamente un'illusione ottica, essa deve svanire, ma ciò non succede.

Lo spettroscopio naturalmente potrebbe pronunziare la decisione più sicura sulla realtà di questa differenza di tinte, ma a ciò si oppongono grandi difficoltà tecniche. Le stelle doppie con componenti di colore nettamente diverso, o sono così strette che non si possono portare esse componenti separatamente nel campo di visione dello spettroscopio, ovvero il compagno è troppo debole, per permettere generalmente ancora una ricerca spettroscopica.

Per contro lo spettroscopio può vantarsi di un bel trionfo nel campo dell'indagine sulle stelle doppie, coll'aver rivelato la natura di stelle doppie, in alcune stelle lucide, i cui compagni non potranno mai essere visti direttamente nel cannocchiale. *α Virginis* è il rappresentante caratteristico di questa rara specie di stelle doppie: essa è la bella e lucida *Spica*. Vogel, in Potsdam, scoprì negli anni 1889 e 1890, che le linee nello spettro di questa stella mutano periodicamente la loro posizione rispetto alle linee corrispondenti di una sorgente di luce terrestre, e quindi ferma. Uno spostamento costante non sarebbe molto notevole, giacchè esso è constatato in quasi tutte le stelle e dimostra un loro movimento nello spazio uniformemente progressivo. Ma la natura speciale della variabilità di questi spostamenti di *Spica*, non poteva venire altrimenti chiarita che con un movimento circolare, che la stella deve compiere oltre a quello progressivo. Le osservazioni di Potsdam dànno i seguenti movimenti per minuto secondo:

Anno	Giorno e mese	Tempo medio di Potsdam	Movimento per secondo in chilometri	Anno	Giorno e mese	Tempo medio di Potsdam	Movimento per secondo in chilometri
1889	21 aprile	$9^h\ 15^m$	— 91	1890	10 aprile	$11^h\ 30^m$	— 1
1889	29 aprile	11 10	— 98	1890	11 aprile	10 50	+ 56
1889	1 maggio	10 58	+ 46	1890	13 aprile	10 50	— 109
1890	4 aprile	11 30	— 22	1890	15 aprile	11 0	+ 81
1890	9 aprile	10 30	—104				

Da questo quadro vediamo che il movimento della stella lungo la visuale, si fa ora verso di noi, ora per il verso opposto. In queste circostanze noi vediamo l'orbita molto in iscorcio, all'incirca come quella dei satelliti dei pianeti, giacchè se noi

l'avessimo proprio di fronte, non potrebbe verificarsi alcuna variazione relativa di velocità. Dagli spostamenti osservati delle linee e dai numeri dati si può facilmente ricavare che l'invisibile stella doppia compie una rivoluzione in 4 giorni e 0,3 ore, e che la velocità della stella principale nella sua orbita ammonta ad 89 km. al secondo; tutto il sistema si muove poi nel tempo medesimo di 22 km., allontanandosi da noi. Se ora, per analogia col sistema solare, si ammette che il movimento si faccia in un'orbita pressochè circolare, si può con tutta facilità calcolare in chilometri il diametro di questo cerchio, sebbene per il resto noi abbiamo del tutto a che fare con distanze sconosciute. Per ciò fare non abbiamo che a moltiplicare per 89 la durata della rivoluzione sopra riferita, ma espressa in secondi; con ciò otteniamo in chilometri la lunghezza di quella circonferenza e possiamo calcolarne il raggio a mezzo del numero π. Con ciò si ottengono 4.880.000 chilometri.

A mezzo del prisma abbiamo così scoperto un mondo, che sta vicino al centro del suo sistema dodici volte più che il pianeta più vicino al Sole stia al suo, e che si muove attorno al centro 22 volte più rapidamente. C'imbattiamo qui in una specie affatto nuova di corpi celesti; però non ci converrebbe abbandonare i nostri prudenti dubbi sulle cognizioni che ci condussero alla loro scoperta teorica, quando l'esistenza di simili corpi celesti vicini fra loro non venisse posta fuori di questione da altri fatti constatati in Cielo, dei quali presto dovremo parlare. Se la *Spica* ci stesse vicina, quanto il Sole a noi più prossimo nel Centauro, il che sicuramente non è, questi 5 millioni di chilometri di distanza dal centro comune del sistema ci apparirebbero sotto un angolo di soli $0,_{03}''$; pertanto ove pure si voglia fare la poco probabile supposizione che il compagno possegga una massa eguale a quella della stella principale, e che pur tuttavia stia alla distanza di $0,_{03}''$ dal centro di massa, esso non potrebbe neppure nei nostri migliori istrumenti apparire separato alla ipotetica piccola distanza di $0,_{06}$. È forza quindi rinunziare per sempre ad una conferma diretta di questo interessantissimo risultato dell'" Astronomia dell'invisibile „ che vanta già tanti trionfi.

Probabilmente questo compagno sarà un corpo oscuro. Altrimenti nello spettroscopio si dovrebbe presentare un fenomeno, che fu osservato in alcune altre stelle: in β *Aurigae* e ζ *Ursae majoris* da Pickering ed in β *Lyrae* da Belopolsky in Pulkowa presso Pietroburgo, e che consiste in ciò che le linee spettrali si mostrano periodicamente a vicenda doppie e semplici. Nel caso di corpi ad un dipresso egualmente grandi, deve verificarsi un movimento comune attorno al centro di gravità; vedremo ciò meglio nella Seconda Sezione. Colà le circostanze sono affatto diverse da quelle del nostro sistema solare, nel quale un corpo prevale essenzialmente, e quindi questo per suo conto riposa quasi perfettamente relativamente ai movimenti di rivoluzione dei suoi satelliti. I Soli doppi di grossezza quasi uguale, si controbilanciano in guisa che, rimanendo sempre alle maggiori possibili distanze fra loro, si muovono attorno al comune centro di gravità, che non è d'uopo sia occupato da alcuna massa. Quando in un cosifatto sistema uno dei corpi nel suo moto circolare procede verso di noi, l'altro deve nella parte opposta dell'orbita muoversi scostandosi da noi. La conseguenza di ciò sarà che le linee spettrali di una stella devono spostarsi da una parte, e quelle dell'altra dalla parte opposta; poichè fintanto che il corpo, che momentaneamente si trova a noi più vicino, si muove

d'alquanto verso destra normalmente alla visuale, e quello che corre lungo la parte posteriore dell'orbita si muove verso sinistra, non avviene alcun spostamento delle linee. Lo scindersi periodico, od ancora il notevole allargarsi e riunirsi delle linee è con ciò senz'altro spiegato. È molto strano che in β *Aurigae* si verifichi quasi nello stesso modo la medesima breve durata di rivoluzione di quattro giorni che trovammo nella prima stella della Vergine. Per contro, dalle osservazioni di ζ *Ursae majoris*, Pickering dedusse una rivoluzione della durata di 104 giorni, numero però che ha d'uopo di essere meglio stabilito con osservazioni prolungate di quella notevole stella. I compagni di queste due stelle devono quindi essere luminosi di per sè stessi, all'opposto di quello di Spica.

Una più minuta investigazione delle circostanze che si verificano in β *Lirae*, ci conduce alla classe di corpi celesti che dovremo considerare nel capitolo seguente, cioè alle stelle variabili.

[A pag. 407 l'autore parla della temperatura dello spazio e la fissa a 100 gradi sotto lo zero del termometro centigrado, cioè sotto la temperatura del ghiaccio fondente, e ne deduce da ciò alcune conclusioni. Prima di tutto avvertasi che per temperatura dello spazio s'intende quella che sarebbe segnata da un termometro collocato nelle regioni interstellari e non particolarmente soggetto all'influenza di alcuna, ma in guisa da poter segnare quella temperatura, che in quelle regioni è prodotta dall'azione di tutti i corpi celesti esistenti. L'autore poi parla ancora dello zero assoluto che sta a 273 gradi sotto lo zero del termometro centigrado. Giova chiarire quelle parole *zero assoluto*, generalmente non note a chi non abbia compiuto studi di fisica o di termodinamica. È legge elementare di fisica che la forza elastica di un gas va crescendo col crescere della temperatura.

Ora se supponiamo una massa di gas racchiusa in un involucro inflessibile, ogni grado di calore che ad esso si comunica produce un accrescimento definito della forza elastica, dovuta all'energia accresciuta delle particelle che costituiscono la massa gasosa. Partendo da zero, ed accrescendo man mano la temperatura, noi vediamo che ogni nuovo grado di calore produce un aumento di forza elastica eguale ad $1/_{273}^{mo}$ di quella che il gas possedeva a 0°; di conseguenza elevando la sua temperatura di 273°, noi raddoppiamo la sua forza elastica. Supponendo che la medesima legge si verifichi per temperature inferiori a zero, e che una sottrazione di calore corrispondente ad una diminuzione di un grado nella temperatura, faccia diminuire la forza elastica, od il movimento che la produce di $1/_{273}^{mo}$ di quello che esso possedeva a 0°, è manifesto che alla temperatura di 273° centigradi sotto lo zero, noi non avremmo più alcuna forza elastica. Il movimento, al quale è dovuta la forza elastica, dovrà cessare a quel limite, e si sarà raggiunto quello che si chiama lo *zero assoluto della temperatura*. Certamente nella realtà fisica, ogni gas devierà dalla legge di contrazione supposta, prima di giungere così basso, e che potrà divenire solido prima di toccare — 273° ossia lo zero assoluto. Questo d'altronde è ancora al di sotto di tutte le più basse temperature, che noi sappiamo oggi produrre.

Il Dr Meyer afferma che la temperatura dello spazio sta intorno a 100° sotto lo zero centigrado; ciò non è conforme allo stato attuale della scienza, la quale

accetta la seguente conclusione di S. Günther: La temperatura dello spazio (quale fu definita) è in ogni caso estremamente bassa, assai prossima alla temperatura dello zero assoluto: ma non è certo che essa debba venir riguardata come costante in tutti i punti dello spazio.

Dopo ciò, le considerazioni del Dr Meyer debbono essere assai modificate.

(Nota di O. Z. B.)].

19. — Le stelle variabili e le stelle nuove.

Oltre allo sdoppiamento periodico delle sue linee spettrali, la stella β *Lirae*, che descrivemmo nel capitolo precedente, mostra anche una variabilità periodica della sua intensità luminosa concordante colla prima. Essa divide questa specialità con molte altre stelle. Un catalogo di " Variabili „ di recente compilato dall'americano Chandler, che giunge fino a marzo 1896, contiene 378 numeri.

Così constatiamo che quelle luci celesti, che da migliaia d'anni da che l'uomo rivolge gli occhi in alto a cagione della immanente quiete ed invariabilità del firmamento sono divenute gli attributi dell'eternità, vanno soggette a fluttuazioni della loro intensità luminosa. Ciò deve apparire tanto più misterioso, in quanto che man mano che progrediamo nella conoscenza della natura delle stelle fisse, dobbiamo riconoscerle senza riserva come eguali al nostro Sole. Ma nelle stelle variabili vediamo che la luce oscilla colle più varie gradazioni e nei più diversi intervalli di tempo. In alcune il periodo del cambiamento di luce è ristretto a pochi giorni ed anche ore; in altre il misterioso processo si stende lungo anni; ed alcune stelle, quelle dette temporanee o nuove, splendettero soltanto una volta in luoghi del Cielo, dove prima non si era scorto mai traccia alcuna di stella, e neppure nessun debole punticino luminoso. Una di esse, la stella nuova del 1572, superò in splendore tutte le altre stelle del firmamento, rimase immobile al medesimo sito, ma impallidì ognor più in alcuni mesi e finalmente scomparve intieramente. Alcune di queste stelle variabili mantengono il loro periodo con una così grande esattezza che un osservatore esercitato può regolare l'indice dei minuti del suo orologio su di esso. Altre si attengono solo mediocremente al loro periodo, ed altre ancora sono affatto irregolari.

Questo campo delle " Variabili „ offre quindi all'osservatore un'abbondanza di particolarità, le quali meritano una sempre più attenta disamina. In questi ultimi tempi si dedicarono a questo studio attraente molti amici dell'Astronomia, ai quali questo campo si presenta facile, giacchè è possibile tener dietro in modo preciso alle fluttuazioni di luce quasi senza istrumenti. Spesso per poter esaminare le più interessanti fra le " Variabili „ basta un binoccolo da teatro, e con una speciale attitudine di apprezzamento e costanza si può riuscire ad ottenere una serie di osservazioni, atte a fornire contribuzioni importanti alla conoscenza della costituzione dell'Universo.

Per istituire un'osservazione di stelle doppie si procede così: si sceglie come paragone una o meglio due stelle vicine alla " Variabile „ che si vuol studiare, una delle quali sia alquanto maggiore, l'altra alquanto minore di essa. Indi, il più

rapidamente possibile, si guarda l'una dopo l'altra, la " Variabile „ ed una delle stelle di paragone, e si stima la differenza di splendore nei gradi, nei quali si dividono le classi di grandezza. Un tal grado sta quindi d'ordinario ai limiti della facoltà di apprezzare la differenza per la stima intrapresa senza particolari mezzi sussidiari. Questi apprezzamenti si devono ripetere molte volte nel corso di una sera, dopochè nel frattempo si sono osservate altre stelle, per non rimanere sotto la prevenzione del primo apprezzamento. Il paragone delle osservazioni istituite in diverse sere, paragone che naturalmente deve istituirsi sempre colla medesima stella di confronto, permette di riconoscere le fluttuazioni dello splendore. In questo caso non occorre avere dati più esatti delle classi di grandezza, essi si ottengono con misure fotometriche delle stelle di paragone. Se nell'applicare questo metodo si fa in modo che le stelle di paragone siano il più che è possibile vicine all'oggetto che si vuole osservare, si eliminano tutte le cause di errore che possono provenire dalla diversità di condizioni atmosferiche, o dall'assorbimento od estinzione della luce esercitata dall'aria e che cresce col crescere della distanza zenitale dell'astro. Le condizioni diverse nelle diverse sere d'osservazione, il lume lunare in aumento od in diminuzione, che può alterare in modo essenziale lo splendore dell'astro, sono quasi senza influenza sopra osservazioni di confronto.

Da qualche tempo viene in queste osservazioni adoperato il fotometro a cuneo affumicato, il quale consiste in un pezzo di vetro foggiato a cuneo, il quale con una manipolazione speciale è ridotto ad essere soltanto parzialmente trasparente. Il cuneo sta in un astuccio entro il quale può scorrere. Facendolo scorrere davanti all'occhio, si può fare che l'impressione che lo splendore dell'astro produce sulla nostra retina cambi, col far percorrere ai raggi luminosi tratti maggiori o minori attraverso al cuneo che intercetta la luce. Con questo semplice congegno si può quindi far cambiare apparentemente lo splendore della stella di paragone, fino a che essa sembri di splendore eguale a quello della " Variabile „: quindi si fa la lettura sull'astuccio, e si trova di quanto si sia spostato il cuneo e si ha così, in gradi, la differenza cercata di splendore. Per queste osservazioni è necessario inoltre essere forniti di un orologio da tasca discretamente buono, i cui dati devono essere confrontati con quelli di un orologio sicuramente esatto, ad esempio quello di un ufficio telegrafico.

La varietà delle manifestazioni accennata ora, che ci è presentata dalle " Variabili „, rende fin d'ora probabile che si debbano addurre per esse delle spiegazioni affatto diverse. Sarà quindi conveniente di distinguere quegli oggetti in diverse classi, da trattarsi particolarmente. Pickering ha distinto cinque di tali classi.

I. Stelle che risplendettero soltanto una sola volta, cioè le così dette stelle nuove o temporanee.

II. Stelle che variano il loro splendore in modo irregolare ed in lunghi periodi di mesi ed anni.

III. Stelle che presentano soltanto occasionalmente una debole fluttuazione di luce, cui non può assegnarsi alcun periodo.

IV. Stelle con vicende di luce quasi regolari, che con discreta uniformità s'accentuano od illanguidiscono.

V. Stelle il cui splendore rimane costante per alcune ore, e poi s'affievolisce quasi repentinamente per rinforzarsi dopo rapidamente del pari.

Si è quest'ultima classe di stelle doppie, che in aggiunta alle nostre ultime considerazioni sulle stelle doppie, attira subito la nostra attenzione. Esse sono dette anche stelle del tipo di Algol; giacchè si fu questa ben nota stella (β Persei) che palesò dapprima le particolarità che descriveremo ben presto. Già fin dal 1667 Montanari, astronomo e matematico italiano, fece notare questa variabilità, ed ebbe ad indicarla con quella di altre circa cento "Variabili", in un lavoro andato perduto. Per quanto si sa di certo, Algol fu la seconda stella, nella quale siasi avvertita tale particolarità.

Algol, che d'ordinario appare come una stella di seconda grandezza, si può osservare facilmente nelle ore della sera in autunno, inverno e primavera. Con l'aiuto di una carta celeste anche il profano potrà trovarla, quando ad orientarsi egli si giovi o del W di Cassiopea, che si trova sempre, perchè per noi non tramonta mai, o del Gran Carro. Algol conserva lo splendore di una stella di seconda grandezza quasi esattamente per due giorni e mezzo; per questo tempo, nulla la distingue da una stella ordinaria. Poi d'un tratto la sua luce comincia ad affievolirsi, dapprima lentamente, quindi sempre più rapidamente, finchè dopo 4 ore e mezzo si è oscurata fino a perdere una classe e mezza di grandezza ($2{,}8 - 3{,}7$). Poi il suo splendore si rinforza di nuovo ed in 4 ore e mezzo raggiunge la sua ordinaria intensità. Nella tabella seguente diamo, seguendo Schönfeld, le fluttuazioni di splendore, prima e dopo il minimo, poste in gradi l'una accanto all'altra:

Intervallo di tempo fino al minimo	Splendore prima di esso	Splendore dopo di esso	Intervallo di tempo fino al minimo	Splendore prima di esso	Splendore dopo di esso
$4^h\ 30^m$	20,7 0,5	20,7 0,5	$2^h\ 0^m$	15,3 2,0	13,2 2,6
4 0	20,2 0,6	20,2 1,0	1 30	12,6 3,3	9,8 3,4
3 30	19,6 0,9	19,2 1,5	1 0	8,5 3,5	7,6 2,2
3 0	18,7 1,4	17,7 1,9	0 30	6,3 2,2	6,2 1,4
2 30	17,3 2,0	15,8 2,6	0 0	5,6 0,7	5,6 0,8

Questa vicenda si ripete, per quanto consta, regolarmente da più di un secolo. Fra gli istanti di due minimi, intercedono sempre 2 giorni, 20 ore, 48 minuti e 53.s secondi, colla sola restrizione che quest'ultimo numero di secondi, nel corso di una diecina d'anni oscilla sempre alquanto, al più di 5 secondi. Il numero sopra riferito vale per il 1862; dal 1784 fino a quell'epoca esso era venuto lentamente diminuendo, mentre esso ora aumenta di nuovo. Quindi anche in queste minime fluttuazioni si può riconoscere chiaramente una regolarità.

In tutta la cerchia dei fenomeni naturali, i processi non si svolgono mai con precisione così grande come nel campo dei movimenti celesti. Quindi volendo ricercare la causa delle notevolissime vicende luminose di Algol, noi saremo costretti a seguire quella traccia. Per fermo qui non possono essere in giuoco dei processi fisici, giacchè questi non lavorano mai con tale precisione. In queste condizioni si viene naturalmente a pensare di un fenomeno, che anche nel nostro sistema solare accade regolarmente e si può calcolare in precedenza con grande esattezza, le eclissi solari, le quali per il nostro punto terrestre d'osservazione producono del

pari delle vicende luminose sul nostro astro principale. Appare, in fatti, che gli oscuramenti di Algol, si comportano in tutto il loro svolgersi in modo analogo ad eclissi solari. Noi dobbiamo quindi cercare un secondo corpo, oscuro, che circola attorno ad Algol, e che ogni 69 ore circa, attraversa la visuale che dalla Terra va ad Algol, col che ne intercetta parzialmente durante qualche ora la luce. In tale supposizione pertanto, Algol non è più una stella doppia come quelle considerate più sopra, ma bensì un Sole attorno al quale circola un pianeta oscuro. A dire il vero però colà le circostanze e le condizioni dominanti devono essere ben diverse da quelle del nostro sistema solare, perchè vi riscontriamo un pianeta che, stando al notevole indebolimento di luce prodotto, non deve essere di molto minore del suo Sole. Se nelle nostre ecclissi solari, la Luna può coprire intieramente il Sole, benchè gli sia tanto inferiore in grandezza, ciò dipende dalla prossimità relativamente grande della Luna che ce la fa apparire molto più grande. Ma all'immane distanza che ci separa dal sistema di Algol, non è più il caso di parlare di tali differenze prospettiche di grandezza. Inoltre, data la breve durata della rivoluzione di neppure tre giorni, di questo oscuro compagno attorno alla sua stella principale, quello deve essere a questa molto vicino, il che costituisce un'altra differenza essenziale tra il sistema di Algol ed il nostro.

L'esistenza di questo compagno oscuro è stata provata anche a mezzo del metodo spettrografico, nello stesso modo che per α Virginis da Vogel e Scheiner; col che venne aggiunto un nuovo ed interessantissimo oggetto al capitolo dell'astronomia dell'invisibile. In causa della grossezza quasi eguale dei due corpi, nessuno di essi può stare in riposo completo, essi devono entrambi muoversi attorno ad un centro comune. Quindi per l'esame dell'interessante caso era molto importante il tener dietro, per mezzo dello spettroscopio, al movimento di Algol lungo la visuale. Ora si può annoverare fra i migliori risultati di questo metodo, l'aver scoperto le oscillazioni di questa velocità lungo la visuale, che dimostrano i periodi medesimi delle vicende luminose di Algol. Mentre la stella splende di luce non affievolita, nelle sue linee spettrali si verificano delle variazioni di posizione che pongono fuori di dubbio il suo movimento circolare. Scheiner nella sua *Analisi spettrale degli astri* pubblica le seguenti osservazioni:

Tempo medio di Potsdam	Distanza dal prossimo minimo	Movimento di Algol
4 dicembre 1888 . . . . . 6,6^h	11,4^h dopo	— 46 km.
6 gennaio 1889 5,7	22,4 prima	+ 29 „
9 gennaio 1889 5,5	19,4 „	+ 32 „
13 novembre 1889 9,3	13,3 dopo	— 40 „
23 novembre 1889 9,0	22,3 prima	+ 42 „
26 novembre 1889 8,5	19,6 „	+ 45 „

Da questi numeri, come già si fece per α Virginis, si può facilmente calcolare l'orbita di Algol attorno al centro comune. Ora poichè la curva delle variazioni di luce ci hanno reso nota la relativa grandezza dei due astri e contemporanea-

mente l'estensione dell'orbita del corpo oscuro, così, ammettendo che le orbite siano prossimamente circolari, possiamo dare in chilometri le dimensioni di esse:

Diametro della stella principale	1.700.000 km.
Diametro del compagno	1.330.000 »
Distanza dei centri	5.180.000 »
Velocità orbitale di Algol	42 »
» » del compagno	89 »
Movimento di tutto il sistema	−4 »

Coll'aiuto di questi numeri possiamo disegnare come nell'annesso disegno le proporzioni del sistema (fig. 187). Con ciò vediamo che il Sole di questo sistema non è di molto maggiore del nostro (Sole = 1.386.000 km.). Il compagno planetario di dimensioni solari è però senza termine di paragone.

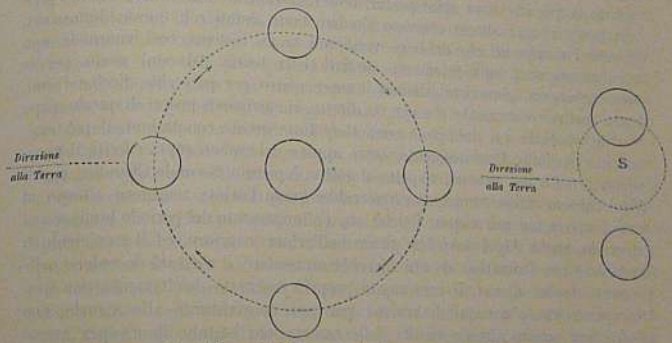


Fig. 187. — Il sistema di Algol, secondo H. C. Vogel.

Ma la spiegazione della lenta variazione del periodo della quale parlammo, presenta però sempre ancora delle difficoltà: vada essa continuamente diminuendo o crescendo, essa si potrà in ogni caso spiegare con un allontanamento od un avvicinamento del sistema al nostro luogo d'osservazione, verificantesi con velocità variabile. Rammentiamo che secondo il principio Doppler-Fizeau lo spostamento delle linee dello spettro è prodotto dai movimenti detti di traslazione delle stelle nello spazio; in modo non dissimile da questo verrà anche prodotto un'accelerazione od un ritardo del verificarsi degli eclissi dei satelliti di Giove, per mezzo dei quali si potè misurare con sicurezza l'enorme velocità della luce. Se, ad es., il secondo eclisse di un corpo avviene in una data posizione dello spazio, la quale disti da noi 300.000 km. più di quella nella quale avvenne l'eclisse precedente, allora la luce per percorrere tutta la via, impiega precisamente un minuto secondo di più, per annunziarci la fine dell'eclisse. Pertanto la durata di questo secondo eclisse sarà, per il nostro luogo d'osservazione, più lunga di un minuto secondo, di quanto non corrisponda alla realtà; e se il movimento continua sempre allon-

tanandosi da noi, mentre la velocità del corpo varia costantemente sempre nel medesimo senso, si deve sempre aggiungere un secondo. Ma in Algol si osserva un fluttuare del periodo; esso diminuì durante alcune diecine d'anni, ed ora cresce di nuovo.

Chandler cerca di spiegare questi fatti, supponendo che a quel notevole sistema appartenga ancora un terzo corpo che al pari del compagno di Algol è intieramente o quasi oscuro, ma la cui grandezza deve superare di molto quella delle altre due stelle. Intorno a questa, come ad esempio avviene nel nostro sistema solare colle eclissi, dovrebbero, in quell'ipotesi, muoversi le altre due lungo un'orbita con una durata di rivoluzione di 140 anni. Con ciò le fluttuazioni constatate del periodo di luce, verrebbero chiarite a mezzo degli spazi diversamente lunghi che la luce deve percorrere entro a quest'orbita maggiore. È però vero che si presentano ancora altre fluttuazioni, le quali lasciano congetturare un quarto corpo, che deve agire perturbando i movimenti degli altri; sembra però che non sia oggi ancora concesso l'andare tanto avanti con queste discussioni, giacchè i movimenti che debbono verificarsi in un sistema così anormale non sono ancora stati sufficientemente studiati dalla teoria. Ad ogni modo, per la loro conoscenza, gioverà moltissimo il tener dietro per parecchie diecine d'anni, tanto spettroscopicamente che per via diretta, ai movimenti propri di questo corpo lucente, al quale noi dobbiamo connettere tutte queste conclusioni, il più esattamente possibile. Presentemente, come appare dai numeri sopra riferiti, il movimento proprio del sistema, rispetto al nostro, è piccolo. Secondo Chandler, oggidì Algol col suo vicino compagno circolerebbe lungo l'orbita maggiore attorno al terzo corpo a noi più vicino. Poichè ora l'allungamento del periodo luminoso va crescendo, anche Algol dovrebbe girare nell'orbita maggiore, ed il movimento di traslazione che l'allontana da noi dovrebbe aumentare, il che sarà da vedersi nelle prossime diecine d'anni. Il movimento proprio osservato direttamente, non spettroscopicamente, e che quindi avviene per noi normalmente alla visuale, non mostra, per quanto almeno risulta dalle osservazioni istituite finora per questo rispetto sulla curiosa stella, e secondo Bauschinger, variabilità di sorta, come invece sarebbe richiesto dall'ipotesi di Chandler. Tisserand quindi dubita che la si possa ammettere, e spiega le oscillazioni della durata della rivoluzione con certe influenze perturbanti che dovrebbero verificarsi nell'ipotesi che Algol non fosse una sfera, ma un corpo schiacciato come la nostra Terra e gli altri pianeti, che per ciò appunto esercitano sui movimenti dei loro satelliti un'eguale influenza. Ma non possiamo ora tener dietro allo svolgimento di queste vedute teoriche.

Le " Variabili „ del tipo di Algol appartengono ai fenomeni più rari. Finora si trovarono in Cielo soltanto dieci esemplari di esso, e ciò si spiega facilmente. Noi vedemmo che nelle stelle fisse è fenomeno comune l'esistenza di un compagno; dobbiamo inoltre ammettere che esistano ancora più compagni di quello che possiamo vedere, o sia perchè i due componenti sono da noi troppo lontani per risplendere ancora, ovvero perchè il compagno è oscuro. Se il nostro sistema solare non è un fenomeno anormale, e per ammettere ciò non vi è ragione, è naturale che in realtà innumerevoli pianeti circolino attorno a quelle stelle fisse che popolano gli spazi celesti, senza che noi ne scopriamo traccia. Così l'esistenza di milioni di mondi scompare nel gran tutto. Lo stesso nostro massimo pianeta Giove,

non potrebbe produrre alcuna notevole fluttuazione di luce quando fosse visto passare davanti al Sole nostro, da una distanza alla quale questo appare ancora come una stella di prima grandezza. Il diametro di Giove è circa dieci volte minore di quello del Sole, e quindi la sua superficie intercettante la luce cento volte più piccola. Per quel punto d'osservazione detto, il nostro Sole è senza dubbio una " Variabile " del tipo di Algol, giacchè per esso deve ogni dodici anni, all'incirca durante alcune ore, perdere la centesima parte della sua luce, giacchè tanta ne viene intercettata da Giove. Ma una fluttuazione di luce di un centesimo di una classe di grandezza, si può constatare coi più delicati fotometri, però soltanto come media ed a mezzo di una lunga serie di osservazioni. Noi siamo quindi ancora molto lontani dal poter fare tali scoperte su altre stelle.

Sebbene da questo confronto si veda quali interessanti conclusioni sul mondo delle stelle fisse si possano dedurre da continuate osservazioni fotometriche, anche per stelle a tutta prima non sospettate di alcuna specialità, tuttavia il raccolto in fatto di stelle del tipo di Algol, dovrebbe pur sempre rimanere assai scarso, giacchè per poterle accertare come tali è necessario che il pianeta eclissante passi esattamente fra noi e la sua stella principale. Le stelle del tipo di Algol devono quindi stare alle stelle doppie, circa come le nebulose ellittiche, nettamente a punta, stanno a quelle rotonde planetarie, od in ogni caso a quelle a spirale che si vedono ancora distintamente sotto una visuale obliqua: come in queste noi dobbiamo guardare sulla costa del corpo piatto e a forma lenticolare, così in quelle l'orbita del pianeta deve apparirci nella direzione della visuale molto in iscorcio. Tra le migliaia di Soli, che sono circondati da pianeti, soltanto alcuni soddisferanno a questa condizione di posizione rispetto a noi, e fra questi poi, noi scopriremo soltanto quelli nei quali il corpo oscuro non è molto più piccolo del luminoso, così da poter ancora produrre un oscuramento ragguardevole. D'altronde se la rarità delle " Variabili " del tipo di Algol è con ciò spiegata, essa a sua volta ci offre una dimostrazione della giustezza delle nostre vedute intorno a queste stelle.

L'ultima stella scoperta di questa classe, W *Delphini*, è particolarmente interessante, per ciò che fra tutte le stelle della sua specie, essa è quella che mostra la più forte fluttuazione di luce. Essa però ha al massimo la grandezza 9,5; due ore prima del minimo essa è già discesa alla dodicesima grandezza; essa sta quindi allora al limite della visibilità negli strumenti medî; probabilmente poi scompare intieramente. Cinque ore dopo il minimo essa ha di nuovo raggiunto la sua intensità ordinaria di luce; tutto il periodo abbraccia 4 giorni, 19 ore, 12 minuti e 13 secondi. Poi dopo quella fluttuazione di 10 ore la stella rimane durante quattro giorni costante, certo fino ad alcuni centesimi di una classe di grandezza.

Dopo di essa, la maggiore fluttuazione di luce ne è esibita da *U Cephei* fra le grandezze 7,3 e 9,2, che si ripete ogni due giorni e mezzo. Il più breve di tutti i periodi è quello di *U Ophiuchi*, con soltanto poco più di 20 ore, delle quali ne passa 15 in luce invariata, mentre l'oscuramento dura 5 ore; in esso la fluttuazione di luce è solamente di 0,8 di classe di grandezza (6,0—6,8). Fra le 10—12 stelle, che, per quanto oggi si sa, mostrano il tipo di Algol (di due è permesso ancora il dubitare se non si debbano ascrivere alla classe successiva), se ne trovano soltanto due, il cui periodo si estende oltre più di quattro giorni; il più lungo appartiene ad *S Cancri* con circa 9 giorni e mezzo. È notevole come si trovino durate

di rivoluzione tanto brevi per tali compagni oscuri. Da ciò dobbiamo conchiudere che sistemi di cosifatta natura anormale, nel quale un pianeta oscuro molto grande per rispetto al suo corpo principale, gira attorno al suo Sole, sono possibili soltanto colla condizione che il compagno stia vicinissimo a quest'ultimo, e che perciò gli si muova attorno molto rapidamente. Per contro è ben certo che in uno studio esauriente delle condizioni di luce delle stelle fisse, saranno ancora scoperte molte " Variabili „ del tipo di Algol, che presentino fluttuazioni di luce più deboli di quelle finora constatate in periodi molto più lunghi. Questi permettono di ammettere l'esistenza di corpi, che nella loro posizione cosmica s'accostano molto più ai nostri pianeti. A questo scopo sarebbe probabilmente bene di tener dietro continuamente col fotometro alle stelle doppie, nelle quali il compagno ha manifestamente una forte inclinazione d'orbita come γ della Corona boreale, ζ d'Ercole, la bella stella doppia γ della Vergine ed alcune altre. Si sono già osservati anche dei casi nei quali erano coperti i due componenti lucidi di quelle stelle. Si avrebbe quindi una bella conferma delle vedute sovra esposte, quando in quegli astri, pei quali è nota l'orbita di qualche pianeta esistente, si osservassero fluttuazioni di luce che rivelassero la reale esistenza di questo pianeta.

Le stelle del tipo di Algol hanno ancora un altro carattere comune, che le distingue segnatamente dalle variabili della seconda e terza classe: esse sono in complesso bianche o bianco-giallognole; fra esse non trovasi alcuna stella rossa. Esse appartengono o alle stelle del tipo solare propriamente dette, ovvero, e per verità in modo preponderante, ad un grado di sviluppo ancora più primitivo della vita di questi astri raggianti. Lo stadio di compagni straordinariamente grandi, che girano attorno alla stella principale a distanze molto piccole, corrisponde quindi alla più giovane età della vita solare.

Si comprende come in un sistema, come quello delle stelle del tipo di Algol, nel quale stanno vicinissimi due grandi corpi quasi uguali, devono dominare rapporti affatto speciali dell'uno rispetto all'altro, ai quali il sistema solare non presenta alcunchè di analogo. Prima d'ogni altra cosa le relazioni di attrazione reciproca presenteranno delle caratteristiche speciali. Un fenomeno particolarmente deve presentarsi in guisa così grandiosa da essere per noi inconcepibile: le maree, cioè, che presso di noi si producono in causa dell'attrazione speciale che la Luna, pur astraendo dall'azione complessiva sul globo terrestre, esercita sull'acqua e sull'involucro aereo della Terra. Immani ondate di marea gireranno attorno ai due corpi, in quel lasso di tempo che essi impiegano a compiere una rivoluzione attorno al loro centro di gravità. Devono quindi generarsi enormi fluttuazioni dell'attività interna dei Soli, che debbono influire sulla loro irradiazione. Sarebbe perciò del tutto spiegabile che le stelle del tipo di Algol si rivelassero variabili anche fuori dei loro tempi d'ecclissamento. Plassmann raccomanda quindi di tener dietro a queste stelle anche durante il tempo del loro splendore apparentemente uniforme, e per Algol egli stesso attese a ciò. Egli trova realmente una fluttuazione di luce a dire il vero molto debole, ma che ritorna regolarmente, un così detto minimo secondario, che avviene circa venti ore dopo il minimo principale. Probabilmente in ciò noi osserviamo indizi delle maree congetturate.

Nella classe di " variabili „ immediatamente vicina a quella del tipo di Algol, noi abbiamo manifestamente a che fare con movimenti di rivoluzione di corpi lucenti

e meno lucenti, benchè qui le condizioni siano più complicate e nella massima parte dei casi non ancora completamente chiarite. Questa classe è del pari poco numerosa, e comprende anche soltanto stelle bianche e gialle, ed il periodo della loro variabilità è come per il tipo di Algol affatto costante e si estende solo a pochi giorni. La differenza delle due sorta di " variabili „ sta puramente e semplicemente nella forma della curva dello splendore; le vicende di questo occupando tutto il periodo, esse non rimangono, come le stelle del tipo di Algol, durante la massima parte del tempo costanti e scendono quindi rapidamente ad un *minimum*. D'ordinario la parte della curva che precede il minimo è diversa da quella che lo segue; l'aumento di luminosità avviene molto più rapidamente della diminuzione dal massimo al prossimo minimo, ed in alcune si mostrano anche distintamente dei minimi secondari ben segnati. Le curve disegnate nella fig. 188 rendono senz'altro manifesti quei rapporti. La prima appartiene alle stelle del tipo di Algol, la seconda appartiene alla stella tipica del secondo gruppo δ Cephei, la terza alla stella β Lyrae già tante volte menzionata.

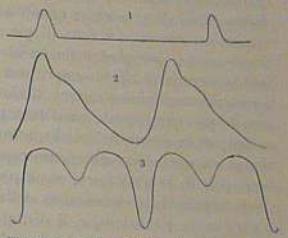


Fig. 188. — Curve della luce di stelle variabili: 1) Algol; 2) δ Cephei; 3) β Lyrae.

Il periodo di δ Cephei è di 5 giorni 8 ore 47 m. 40 s.; esso è affatto costante. Dal 1784 non si è rivelato alcun indizio di una lenta variazione di questo periodo, quale fu avvertita per Algol; la stella oscilla fra le grandezze $3{,}7$ e $4{,}9$, ed il suo splendore sale dal minimo al massimo in un giorno e 15 secondi, mentre la discesa al minimo dura 3 giorni e 18 ore. Ricerche spettroscopiche di Belopolsky hanno mostrato, che la stella descrive una rivoluzione precisamente nel tempo medesimo, nel quale si compie la sua vicenda luminosa. La sua orbita è solo tre volte e mezzo maggiore di quella della nostra Luna (2.730.000 km.) e da altre considerazioni emerge, che la problematica coppia di stelle deve essere molto piccola; la sua massa complessiva è appena tre volte maggiore di quella di Giove. Quindi, se questi risultati non ancora definitivi si confermeranno, saremmo già giunti a Soli, che per la loro mole appartengono alla categoria dei nostri pianeti, quindi sono in certo qual modo Soli di secondo grado. Ma la descritta natura della variazione luminosa, non si può senz'altro chiarire col passaggio di un corpo oscuro; non si può intendere, come quest'ultimo possa quasi permanentemente rimanere davanti a quello lucido, poichè si osserva una continua variazione d'intensità, e poichè il corpo oscuro può scorrere davanti a quello lucido molto più rapidamente di quanto esso scorra. Probabilmente in questo caso le vicende luminose sono prodotte dai fenomeni delle maree, mentre uno o più compagni situati a grande prossimità non vengono affatto in posizione da poter produrre degli oscuramenti, o sia perchè la loro orbita non corra esattamente fra la stella principale e noi, o sia perchè anche essi risplendano di luce propria. In questo ultimo caso però dovrebbe avvenire uno sdoppiamento delle linee spettrali; essa

però può svanire molto, quando l'inclinazione dell'orbita sia tale, che la distanza del corpo circolante da noi non si muti più considerevolmente.

Le circostanze sono ancora più complesse con α Lyrae. Come appare dalla curva della sua luminosità la stella presenta due massimi e due minimi: e nel suo massimo splendore essa ha la grandezza 3,4: tutto il periodo comprende 12 giorni 22 ore. Nel corso di 3 giorni ed 8 ore la stella diminuisce dapprima di una mezza classe di grandezza; quindi nel corso di 3 giorni e 3 ore il suo splendore diminuisce ancora una volta di più che nel minimo precedente, e cioè fino alla grandezza 4,5, per risalire finalmente dopo 3 giorni 2 ore al massimo primitivo. Questa vicenda si ripete sempre con grande regolarità: i massimi sono sempre uguali, mentre i minimi variano. Gli intervalli fra questi rialzi e queste depressioni sono del pari quasi eguali, e mai durante il periodo si nota una sosta, uno splendore costante. Si fu ancora Belopolsky, astronomo a Pulkowa, che sottopose questa stella ad una rigorosa disamina spettroscopica, e diede intorno ad essa delle conclusioni speciali, le quali però, come particolarmente dimostrò Vogel, fanno apparire la natura della curiosissima stella ancora più complicata. Essa condivide con un'altra stella, τ Cassiopejae, il distintivo di mostrare nello spettroscopio accanto a linee oscure, non soltanto le linee lucide dell'idrogeno, ma anche la linea D_3 lucente dell'elio (Classe spettrale *I*, *c*.). Belopolsky ha eseguito dei rilievi spettrografici della stella. Essi mostrano degli spostamenti che avvengono contemporaneamente alle vicende luminose, e lascierebbero conchiudere ad un'orbita di circa 3.000.000 di chilometri.

Ma nelle stelle lo spostamento avviene soltanto per i gruppi delle linee lucide. Per spiegare ciò bisogna ammettere, che le due stelle risplendano di luce propria, che quella ferma ha soltanto linee spettrali oscure, mentre le lucide provengono dall'astro circolante. La diminuzione di luce deriverebbe quindi da ciò che, una volta sono entrambi gli astri che mandano luce, ed altre volte, quando un astro copre l'altro, soltanto uno. Vogel però solleva dei dubbi intorno a questa interpretazione del modo particolare di comportarsi delle linee lucide dell'idrogeno, sebbene egli stesso abbia pure trovato ciò conformemente a Belopolsky. Nel passaggio della stella attraverso alla nostra visuale, nel quale avviene un minimo cagionato dall'occultazione dell'altra, le due stelle devono manifestamente muoversi normalmente alla visuale, cioè a cagione del loro movimento orbitale non si verifica alcuna variazione della distanza da noi. Quindi durante il minimo tanto le linee oscure quanto quelle lucide devono rimanere nella loro posizione normale, per contro al tempo della massima luminosità devono per lo più essere spostate le une rispetto alle altre. Invece accade precisamente il contrario. Anche il modo di comportarsi della linea D_3 è affatto diverso da quello delle linee lucide dell'idrogeno. Sebbene anche qui debbano prodursi dei fenomeni di movimento di natura molto regolare, tuttavia sembra quasi che il sistema di soli β Lyrae presenti delle particolarità, la cui natura è per noi provvisoriamente ancora inconcepibile.

Zöllner e Pickering hanno proposto una spiegazione per le variabili di questa classe, che bastava anche per β Lyrae e δ Cephei finchè non si dovette tenere conto delle menzionate investigazioni d'analisi spettrale. Essi ammettevano che quei Soli fossero già arrivati ad uno stadio di progredito raffreddamento, così che alla loro superficie si trovino estese ragioni, coperte da scorie oscure. Ora poichè

ci è lecito supporre che anche quei corpi, al pari di tutti gli altri che abbiamo potuto esaminare, ruotino attorno ad un asse, così essi ad intervalli regolari rivolgeranno volta a volta a noi la parte loro più lucida e quella più buia, se la distribuzione di quelle scorie alla loro superficie è irregolare. Le piccole oscillazioni del periodo luminoso si possono quindi facilmente spiegare supponendo che quelle scorie non abbiano una posizione fissa alla loro superficie, ma bensì, in modo affatto analogo alla macchia rossa di Giove od anche ai gruppi di macchie solari, compiano dei movimenti proprii sul corpo celeste che le sostiene. Probabilmente la precedente spiegazione s'attaglia ad un numero di stelle appartenenti a questa classe di variabili, pur tuttavia sembra strano, che precisamente fra queste stelle dal breve periodo, non se ne presenti quasi nessuna con colorazione decisamente rossa, mentre noi riguardiamo questa appunto come un segno manifesto di raffreddamento progredito. Naturalmente il color rosso deve precedere la formazione delle scorie. Nelle classi seguenti per contro noi incontriamo quasi esclusivamente delle stelle rosse: per essa quindi la spiegazione di Zöllner e Pickering sarebbe più appropriata; quando non ci sembrino anormali per esse i lunghi periodi che vi si riscontrano.

Ad ogni modo i movimenti osservati spettroscopicamente non sono spiegabili a mezzo di quell'ipotesi, od almeno lo sono soltanto nella supposizione improbabile che i corpi dei Soli siano grandi tanto quanto lo furono trovate le orbite del problematico compagno, così che un punto sulla superficie di quei Soli solamente per causa della rotazione descriva l'orbita che risulta dagli spostamenti delle linee. Può quindi a cagione della disuguale distribuzione delle scorie accadere, che in un dato tempo a noi giungano essenzialmente raggi da quelle parti del gigantesco corpo, che nella rotazione di questo si dirige verso di noi: mentre l'altra parte è oscurata. Dopo una semidurata di rivoluzione le condizioni sono divenute opposte. Le linee devono quindi oscillare in qua e in là col periodo, ed anche i minimi secondarii disuguali, come per β Lyrae, si possono spiegare immaginando diversi campi di scorie più o meno estesi sulla superficie. Nello stesso modo e senza sforzo si spiegherebbe la difettosa coincidenza delle linee corrispondenti colla posizione normale durante il minimo. Però si dovrebbe sempre ammettere un secondo corpo, che produce le linee di assorbimento, giacchè queste non partecipano ai movimenti delle linee lucide. Ma la luce bianco-giallastra della bella stella rende, come già si disse, questa spiegazione improbabile. Anche la presenza della linea dell'elio, che denota una atmosfera molto estesa, lascia piuttosto apparire la stella in uno stadio giovanile, che in quello di un'età molto avanzata. Ma l'apportare un poco di luce in queste condizioni è riserbato ad ulteriori considerazioni.

Intorno alla terza classe di " variabili „ di Pickering, quasi nulla di speciale vi è a dire. In essa furono raggruppate tutte le stelle, nelle quali si potè stabilire con sicurezza una variabilità della luce, ma nelle quali non si potè scoprire una qualsiasi regolarità, così che presentemente non è possibile lo stabilire per esse delle leggi o l'enunciare delle opinioni probabili sulla causa dei cambiamenti di luce. Indagini continuate dimostreranno certamente l'esistenza in questa classe di stelle sempre più numerose che nelle altre. Per lo più si adduce quale rappresentante di questa classe α Cassiopejae, che in tempo indeterminato muta

di splendore fra le grandezze $2{,}_2$ e $2{,}_8$. Essa è una stella rossa. Anche la rossa Beteigeuze, la prima stella in Orione, appartiene a questa classe; essa oscilla irregolarmente fra le grandezze $1{,}_0$ ed $1{,}_4$. La variabile U nei Gemelli si offusca molto di rado; essa emette per lo più una luce molto debole della tredicesima grandezza, può quindi aumentare repentinamente di tre classi di grandezza; ciò avviene in uno o spesso anche in 10 e 20 giorni. Ma la diminuzione procede sempre più lentamente dell'accrescimento, come avviene per quasi tutte le "variabili„, che non appartengono al tipo di Algol. Questa stella è bianca.

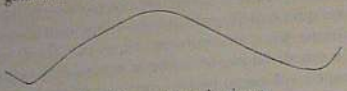


Fig. 189. — Curva luminosa della " variabile , o (omicron) Ceti (Mira).

D'assai più numerose sono le stelle della quarta classe di Pickering. Essa annovera oggidì circa 130 individui: questi sono stelle che mutano la loro luce con discreta ma non intiera regolarità in lunghi periodi che vanno da due mesi almeno, fino a parecchi anni. Come rappresentante caratteristico di essa si assume *Mira* "La Meravigliosa „, come fu denominata dal consigliere di Danzica ed astronomo Evelio, che sta nella costellazione della Balena (o Ceti). Mira è la prima variabile, trovata da Fabricio (1596) prima ancora della scoperta del cannocchiale, ma fu solo designata come tale nel 1639 da Holwarda. Questa stella in verità è fra le cose più meravigliose del Cielo. A certe epoche essa è uno degli astri più lucenti del firmamento, giacchè la sua grandezza è compresa fra la prima e la seconda. In tale epoca essa è un membro consueto nella costellazione di questa regione, la cui mancanza deve ingannarci. In tale splendore la stella può mantenersi per alcune settimane, quindi diminuisce visibilmente di splendore, e settanta e qualche giorno dopo il massimo è completamente scomparsa per l'occhio nudo; e per sette mesi rimane invisibile. Dall'istante in cui essa ricomincia a mostrarsi all'occhio nudo fino al massimo splendore, trascorrono per contro soltanto una quarantina di giorni, cioè in media un mese meno del lasso di tempo richiesto dalla sua scomparsa. Tutto il periodo quindi abbraccia undici mesi in cifre rotonde; come media di una lunga serie di vicende luminose, Argelander trovò per esso $333{,}_3$ giorni. Dopo che Mira è scomparsa per l'occhio nudo, si può tener dietro alla sua ulteriore diminuzione di luce fino alla grandezza $9{,}_5$. Ma tutti questi dati sono soltanto medii, o rispettivamente estremi: la lunghezza del periodo può variare di un mese e più, senza seguire in ciò alcuna legge, ed il massimo splendore può occasionalmente salire solo fino alla quinta grandezza, così che la stella durante uno o due anni può rimanere permanentemente invisibile all'occhio nudo.

Anche le rimanenti variabili di questa classe palesano per lo più fluttuazioni di luce molto considerevoli, e, come media, tra la quinta e l'ottava classe di grandezza. Ciò corrisponde ad una variazione dell'intensità d'irradiazione da uno stato all'altro da 100 a 1500. In nessun caso il periodo è più breve di 65 giorni. Esso per lo più sta fra questo limite inferiore e 300 giorni; il 40 per cento di esse hanno un periodo più lungo di 300 giorni; il più lungo (astraendo da una piccola stella nel Sagittario, il cui periodo di 1456 giorni ha d'uopo di più esatta disamina) è quello delle due stelle R e T nella *Bilancia*, rispettivamente di 723

e 725 giorni, ossia di circa due anni. È probabile che esistano periodi ancora più lunghi, solo che questi sono più difficili a scoprire.

Un altro carattere comune di queste stelle è la tinta rossa, che quasi generalmente è loro propria. Se si eccettuano le stelle, la cui tinta non si può determinare con sicurezza a causa della loro debole luminosità o di altri motivi, pur ne rimangono ancora 98, 2 o 3 delle quali sono decisamente bianche, 1 o 2 biancogialle; inoltre se ne noverano 6 gialle, 28 con una tinta intermedia fra il giallo e il rosso e 58 decisamente rosse. Fra le stelle variabili non si presentano stelle verdi od azzurre.

Se cerchiamo una spiegazione dei fenomeni descritti, vediamo che da una parte, il predominio notevole della tinta rossa e dall'altra le lunghezze dei periodi solo osservati approssimativamente ci suggeriscono la supposizione, che noi qui abbiamo a che fare con processi di natura fisica, ovvero solo molto indirettamente con effetti di movimento come nelle stelle del tipo di Algol ovvero di δ Cephei. Queste due specie di oggetti celesti furono registrati sotto la medesima rubrica solo a causa dei modi esterni di apparire fortuitamente simili, per mezzo dei quali essi ci sono divenuti noti; in realtà la causa delle loro vicende luminose, nonchè del loro carattere complessivo, deve farli porre in una categoria affatto diversa: le stelle del tipo di Algol si rivelano quali oggetti celesti giovani con luce bianca splendente, che raccolgono intorno a sè dei pianeti; per contro le stelle analoghe a Mira sono astri invecchiati, la cui luce pervenuta già all'estremo limite dello spettro sembra talvolta indebolirsi, per riavvivarsi però sempre ancora. Per spiegare quelle vicende luminose, si sono addotti i processi del nostro Sole. Noi sappiamo che il Sole non s'attiene rigorosamente al periodo undecennale della sua massima ricchezza di macchie. Se ora si immagina che questo processo, che oggi però non diminuisce ancora in modo misurabile la potenza luminosa dell'astro del giorno, sia rinforzato in proporzione, il che deve certamente avvenire col progredire dell'età, si potrà avere un'idea del carattere di Mira. Anche un accorciamento del periodo delle macchie solari sarebbe una conseguenza naturale dell'accrescimento della sua attività. Ma anche per le stelle del tipo di δ Cephei, la spiegazione addotta può valere altrettanto bene e con migliore successo che per le stelle simili a Mira, giacchè nelle stelle rosse la formazione delle scorie è molto più probabile che non in quelle bianche di così breve periodo. Il Sole ruota intorno al proprio asse in 25 giorni, in cifre tonde; teoricamente è dimostrato, che in sistemi nei quali parecchi corpi si muovono l'uno attorno all'altro, la rotazione attorno al proprio asse deve costantemente rallentarsi e deve rispettivamente divenire uguale alla durata di rivoluzione dei relativi pianeti. I Soli vecchi devono quindi ruotare più lentamente dei giovani: quindi per questi Soli rossi non si devono riguardare come anormali delle rotazioni di durate tre o quattro volte più lunghe di quella del nostro Sole. In questo modo si potrebbero trovare spiegazioni per " variabili „ con periodi da tre a quattro mesi.

Lockyer ha di recente tentato ancora un'altra spiegazione. Egli non riguarda le " variabili „ di questa classe come singoli individui, ma quali intieri sciami di meteore, corpi celesti, che di per sè stessi sono affatto oscuri, ma che con un continuo urtarsi vicendevolmente divengono individualmente lucenti. Se una tal nube di corpi si muove attorno ad un'altra, nella quale si possa occasionalmente

immergere come appare dalla figura 190, allora gli urti debbono talvolta avvenire più di frequente e quindi più raramente; la nube doppia, che a noi appare soltanto come un punto, risplende perciò periodicamente. Stando alle osservazioni, l'accrescimento dello splendore deve avvenire in modo relativamente più rapido che la diminuzione, giacchè i corpi nell'urto si fanno immediatamente lucenti, mentre poi si raffreddano lentamente. Naturalmente in questo caso noi non dobbiamo soltanto pensare a meteoriti piccoli come quelli che, per quanto ci consta, la Terra incontra. Anche intiere coacervazioni stellari possono e debbono una volta raffreddarsi e formare quindi uno sciame di meteoriti di grandi dimensioni. D'altra parte bisogna ammettere, che segnatamente negli ammassi stellari i corpi dei Soli debbono in media essere notevolmente minori dei Soli isolati come il nostro. Le irregolarità nei periodi si possono anche capire bene a mezzo della ipotesi di Lockyer, poichè i movimenti in tali sciami sciolti, e la distribuzione

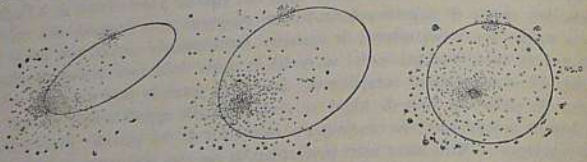


Fig. 190. — Spiegazione delle " variabili „ del tipo di Mira, a mezzo di sciami di meteoriti. Secondo Lockyer.

dei corpi in essi possono andar soggetti a fluttuazioni incalcolabili, come appare dal disegno. In relazione a queste vedute, si può anche addurre il fatto, che " variabili „ della natura indicata, sono particolarmente frequenti negli ammassi stellari addensati, così ad esempio, coi suoi reiterati rilievi fotografici Pickering trovò, nell'ammasso stellare Messier 3 (Cani Levrieri), tra le molte migliaia di stelle che contiene, 87 " variabili „, e 47 fra le 750 stelle che stanno in Messier 5. In questi oggetti celesti i corpi sono talmente addensati che il loro incontro è inevitabile.

Anche la nostra Terra è nel senso di Lockyer una stella variabile di questa classe: quando gli sciami di stelle cadenti delle quali già tenemmo discorso, vengono ad incontrarsi colla Terra, l'atmosfera di questa risplende. Dapprima completamente oscura sulla sua faccia in notte, essa ora risplende di luce propria, in debole misura è vero, ma però con forza oscillante periodicamente; essa mostra anche dei massimi secondari, che sono prodotti nel corso dell'anno dai varii sciami periodici. Non abbiamo che da immaginare questo fatto, che si verifica nella nostra vicinanza immediata ingrandito le migliaia di volte, per intendere il fenomeno delle stelle del tipo di Mira.

Noi abbiamo ragione di congetturare che le masse oscure vaganti nello spazio apparentemente senza scopo e senza regola, che noi incontriamo talvolta, hanno nel congegno del mondo una parte ben maggiore di quella che fu loro assegnata fino ad ora, giacchè essi possono venir poco o punto studiati. D'altra parte alcuni investigatori, quali Lockyer e Nordenskjöld, vanno troppo oltre nell'apprezzare la

loro importanza, quando pensano che la Terra e tutti gli altri corpi celesti siano stati prodotti da meteoriti. Ritorneremo su tale argomento alla fine della Parte Seconda. Anche nel caso precedente delle stelle del tipo di Mira, non andiamo certamente errati, quando a mezzo dell'ipotesi meteorica spieghiamo soltanto una parte di esse, altre a mezzo di quella delle macchie solari ed altre ancora colla formazione di scorie. Come avvenne che dopo uno studio più minuto la serie spettroscopica delle stelle abbia dovuto subire una sottodivisione delle sue classi, così avverrà lo stesso per le classi di Pickering. Lo studio delle stelle variabili è per fermo molto giovane: alla metà del nostro secolo se ne conoscevano appena 40; Argelander eccitò pel primo, a partire da quell'epoca, l'interessamento per quei curiosi corpi celesti, ed a lui s'aggiunsero in modo degno di essere ricordato Schönfeld e Winnecke. Il catalogo pubblicato dai due astronomi testè nominati contiene 126 " variabili „, oggi se ne conoscono 400. Con tale abbondanza di oggetti, che richiedono un'osservazione quasi continua, è di grande importanza una coltivazione attiva di questo ramo dell'Astronomia, tanto rimunerativo.

Tra le stelle del tipo di Mira e quelle temporanee sussiste probabilmente soltanto una differenza quantitativa. Da principio si sarebbe potuto riguardare Mira come una stella nuova, quando per la prima volta emerse dalla sua fase di invisibilità, e quindi poco per volta scomparve affatto. Ma questa differenza quantitativa è manifestamente molto considerevole, e non sappiamo ancora nulla affatto di membri intermedi.

L'apparizione più imponente di una stella nuova avvenne nel 1572 e destò allora l'attenzione e la meraviglia di tutti i popoli civili. L'astro brillò improvvisamente al principio del novembre di quell'anno in *Cassiopea*. Cornelio Gemma aveva nel giorno 8 osservato quella plaga celeste, senza avvertire nulla di notevole; nel giorno successivo la stella vi apparve repentinamente, e precisamente subito nel suo massimo splendore, che superò quello di tutte le altre stelle fisse, ed uguagliò per lo meno quello di Venere all'epoca del suo massimo splendore, così che la straordinaria stella poteva venir scorta di pieno mezzodì (naturalmente ad occhio nudo, poichè il cannocchiale allora non era ancora conosciuto). Tycho de Brahe, il più rinomato astronomo di quei tempi, la vide per la prima volta l'11 di novembre e le tenne dietro con ogni cura durante tutte le fasi della sua apparizione: misurò anche in modo speciale cogli istrumenti del suo osservatorio, eccellenti per quel tempo, la posizione della stella rispetto a quelle vicine che rimasero invariate. L'impressione prodotta dal memorabile avvenimento appare dalle parole di Tycho: " Stando fuori all'aperto, rivolsi come di consueto lo sguardo alla vôlta celeste a me ben nota, e vidi, con meraviglia inesprimibile, una stella fulgente di grandezza mai più vista, in Cassiopea presso allo zenith. Nell'eccitamento io credeva di non dover prestar fede ai miei sensi. Per persuadermi che non si trattava di un'illusione, e per raccogliere la testimonianza di altri, andai a cercare i miei operai fuori del laboratorio e domandai a tutti i contadini che passavano, se vedevano al pari di me la stella che improvvisamente era comparsa „.

La nuova stella, che ordinariamente è designata come di Tycho, rimase in sul principio alcune settimane in questo magnifico splendore, ma già in marzo del seguente anno, 1573, quattro mesi dopo la sua apparizione, essa era divenuta una stella ordinaria di prima grandezza. Mentre essa al suo primo apparire

brillava di luce bianca, coll'affievolirsi andò man mano prendendo una tinta sempre più rossa, come è attestato nei racconti di tutti i testimoni oculari. In maggio essa era ancora tra la seconda e la terza grandezza, ma a quell'epoca assunse una tinta più pallida (meno rossa). Probabilmente in ciò si tratta di un rinnovato debole fiammeggiare. In novembre, vale a dire un anno dopo la sua comparsa, essa si poteva appena ancora vedere, e nel marzo 1574 non era più percettibile all'occhio nudo alcuna traccia di essa.

Poichè, come si disse, Tycho istituì determinazioni della posizione dell'astro, si potè esaminare la questione, se oggi coi nostri cannocchiali che tanto possono addentrarci nello spazio, sia possibile l'avvertire ancora qualche debole vestigio di essa. E realmente nelle vicinanze del luogo che risulta da quelle vecchie osservazioni si trova una piccola stella di undicesima grandezza, che è possibile sia, ma non è certo, identica coll'astro di Tycho. Ad ogni modo in quest'astro ci sta dinnanzi il meraviglioso fatto di un corpo celeste, che affatto repentinamente in meno di un giorno, può risplendere di uno splendore che supera quello di tutti gli altri, e quindi poco per volta ridiscende al suo nulla. La curva delle sue vicende luminose dalle due parti dell'unico massimo, mostra quindi, benchè in condizioni estreme, un carattere eguale a quello delle " variabili " a lungo periodo; rapido ascendere al massimo e lento ridiscenderne. Anche la tinta rossa presentatasi più tardi mostra una relazione delle due specie di fenomeni.

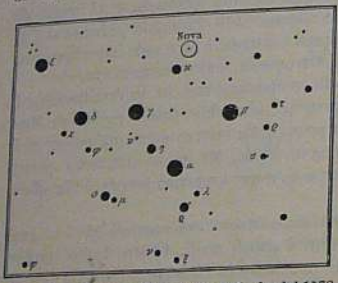


Fig. 191. — *Posizione della stella di Tycho del 1572 (Nova Cassiopejae).*

Tutte le altre stelle nuove, che d'altronde sono fra i più rari avvenimenti celesti, concordano in questi distintivi. Si potrebbe quindi proporre la questione, se le relazioni estreme della curva di luce non additino ad estremi simili dei periodi, che probabilmente abbracciarono tanti anni, quanti giorni occorrono a quelle " variabili " per passare da un massimo ad un altro. Ma se la stella di Tycho avesse nei tempi storici brillato di egual splendore, anche uno o due mille anni fa, non avrebbe potuto sfuggire all'attenzione dell'umanità; gli annali ci darebbero qualche risposta a quella questione. Prima della stella di Tycho, si racconta di dieci o dodici casi di stelle molto lucide apparse, e che poi poco per volta impallidirono e finalmente scomparvero. Però non si è sempre certi di aver a che fare con una stella fissa, giacchè il distintivo caratteristico della sua posizione invariata non fu rilevato abbastanza nettamente. Non è quindi escluso che possa trattarsi di apparizioni di comete lucide.

Molto più accurati e più chiari, anche nei tempi più remoti, sono anche per l'argomento che ci occupa, gli annali chinesi, i quali costituiscono una vera miniera di indicazioni astronomiche, mentre gli annali medioevali delle nazioni civili di Europa pullulano di contraddizioni e di oscurità. La prima di queste nuove stelle

registrata nei libri storici di Ma-Tuan-Lin data dall'anno 134 a. C. ed apparve nello Scorpione fra le stelle β e ρ. È probabilmente quella, che a quanto racconta Plinio, spinse Ipparco alla compilazione del suo catalogo stellare, affinchè si potesse constatare più tardi se tali stelle nuove appaiono di frequente. Il menzionato istorico chinese riferisce di altre stelle nuove negli anni 123, 173, 386, 393, 1011, 1203, 1230 d. C. Ma-Tuan-Lin così si esprime circa la stella del 173, che brillò tra α e β Centauri: " La stella scomparve dopo otto mesi, dopo essersi tinta successivamente dei cinque colori „. Queste cinque tinte sono, secondo il modo di vedere chinese, bianco, azzurro, giallo, rosso e nero. Qui noi abbiamo pertanto da segnalare una grandissima rassomiglianza colla stella di Tycho. Ora poichè è data negli annali chinesi con esattezza la posizione di tutte queste stelle nuove menzionate, così si vede che non può trattarsi di una apparizione antica della " Nova del 1572 „.

Negli annali medioevali sono menzionate soltanto due o tre apparizioni, che si possano con sicurezza attribuire a stelle nuove; l'una brillò nel nono secolo (l'anno è incerto, probabilmente 827) nello Scorpione e fu visibile durante 4 mesi; un'altra apparve nel Capricorno nel 1245. Rimangono soltanto ancora alcune comunicazioni dubbie, per le quali non è data la posizione in cielo, e che si potrebbero con grande incertezza riguardare come altre apparizioni della stella di Tycho. Stanno fra esse quelle degli anni 1264 e 945. Fra esse intercede un lasso di tempo di 319 anni: fra il 1264 ed il 1572, 308 anni, d'altra parte fra la nascita di Cristo ed il 945, tre volte 315 anni. Se quindi la stella che secondo la Bibbia guidò i Magi dall'Oriente in Betlemme, è stata una stella nuova, quale noi l'intendiamo, vi sarebbe una debole probabilità, che essa sia identica contemporaneamente con quella del 945 e 1264 e di Tycho. In questo caso si tratterebbe di una stella variabile con un periodo da 310 a 320 anni, la quale quindi dovrebbe di nuovo brillare in questi prossimi anni. La speranza di ciò però ha pur troppo un ben debole fondamento. In ogni caso non è riuscito il tentativo di ricondurre l'apparizione di questa nuova stella ad una variabilità di essa con periodo più lungo. Lo stesso vale per tutte le altre stelle temporanee apparse più tardi, probabilmente con alcune poche eccezioni. Secondo gli annali chinesi, una stella nuova apparve il 1° luglio 1584 presso π Scorpii, che, data la sua situazione molto bassa, può bene essere sfuggita agli astronomi medioevali. Fra le stelle sopra menzionate quelle del 134 a. C., e degli anni 393, 827 e 1203 d. C. apparvero pure nello Scorpione. Fra queste cinque apparizioni intercedono rispettivamente 522, 434, 376 e 381 anni, ossia intervalli che relativamente non sono più diversi dei periodi delle " variabili „ del tipo di Mira. Rimane a vedersi se intorno all'anno 2000, nello *Scorpione* si mostrerà di nuovo una stella, che si possa identificare con quelle.

Nel diciassettesimo secolo sono da menzionare quattro stelle nuove; per contro nel secolo decimottavo non ne apparve neppur una: una sola, nella prima metà del nostro secolo, mentre poi dopo d'allora esse crebbero assai in numero, per la sorveglianza sempre più attenta del cielo nei tempi moderni, specialmente con l'aiuto della fotografia.

Fra le apparizioni antiche è particolarmente interessante quella del 1600 per ciò che il suo splendore oscillò in intervalli irregolari sopra e sotto la terza grandezza.

Così nel 1621 essa era interamente scomparsa per i cannocchiali di quell'epoca, e quindi era più debole della sesta grandezza; nel 1655 Cassini la vide di nuovo quale stella di terza grandezza; essa poi scomparve di nuovo, risplendette nuovamente nel 1665, senza raggiungere l'antico splendore e finalmente discese alla sesta classe, nella quale d'allora in poi rimase invariabile. Oggi quella stella si trova designata nelle nostre carte come 34 Cygni, senza presentare alcun fenomeno notevole (*a*). Vedremo che la *Nova Aurigae* del 1892 mostrò simili fluttuazioni, la cui spiegazione è applicabile anche alla stella del 1600.

Una stella di prima grandezza apparve nel 1604 in Ofiuco e scomparve dopo 16 mesi pure senza lasciar traccia. Keplero dedicò ad essa un lungo lavoro, così che si suole designare la stella col suo nome. Le altre due apparizioni del secolo decimosettimo avvennero nel 1612 e 1670, quella della prima metà del nostro secolo nel 1848. Quest'ultima " Nova „ fu veduta la prima volta da Hind il 27 aprile quale stella di grandezza 4,5: nel 1850 era già di undicesima grandezza, e sembra che nel frattempo sia scomparsa affatto. La prima stella, divenuta visibile non ad occhio nudo, fu scoperta da Auwers nello Scorpione il 21 maggio 1860, nel massimo essa fu di settima grandezza.

Dopo di essa comincia un'èra affatto nuova per la disamina delle stelle temporanee, giacchè ora collo spettroscopio si può tener dietro ai misteriosi processi fisici, che manifestamente sono causa della loro comparsa. Da quell'epoca non apparvero meno di cinque stelle nuove, nel 1866 nella Corona Boreale, nel 1876 nel Cigno, nel 1885 in mezzo alla nebulosa d'Andromeda, nel 1892 nell'Auriga e finalmente nel 1893 nella costellazione meridionale Norma.

La più lucida fra esse fu la prima, quella del 1866: ma sfortunatamente allora la tecnica dell'arte delle osservazioni spettroscopiche era ancora poco sviluppata, così che i risultati relativi non si possono considerare come intieramente valevoli. Essa fu scoperta da Birmingham in Tuam alle 11 e $^3/_4$ del 12 maggio 1866, come stella tra la seconda e la terza grandezza nella Corona, in una posizione dove il catalogo di Bonne ne segna una dalla nona alla decima grandezza. Nella stessa notte fra le ore 8 e le 11, Schmidt in Atene osservò la stessa regione, senza avvertirvi nulla di notevole: egli avrebbe certamente visto un astro estraneo, che fosse stato più lucido della quinta e sesta grandezza. Segue da ciò che T Coronae in meno di due ore è cresciuta di almeno tre classi di grandezza. Essa diminuì poi molto rapidamente, così che alla fine di maggio era già ricaduta alla sua originale piccolezza, nella quale rimase d'allora in poi. Le ricerche spettroscopiche di Huggins e Miller diedero il risultato importante, che la stella, come tutte le successive " Novae „, con alcune eccezioni quella nella nebulosa d'Andromeda, mostrò ad un tempo linee chiare ed oscure; le prime corrispondevano parzialmente con quelle dell'idrogeno.

La *Nova Cygni* del 1876, potè essere studiata sotto questo aspetto molto più profondamente: essa è quella stella alquanto colorata in rosso, che fu scoperta da Schmidt in Atene il 14 novembre, e che aveva una grandezza compresa fra

(*a*) [Questa stella è qui indicata col numero del catalogo di Flamsteed. Il P. Secchi nella sua opera *Le Stelle*, la designa con P *Cygni* adottando le lettere del catalogo di Bayer. Si discorrerà più avanti di questi cataloghi. (Nota di O. Z. B.)].

la terza e la quarta. Quest'astro diminuì relativamente adagio; nell'ottobre 1877 era ancora di decima grandezza, nel febbraio 1878 inferiore all'undicesima grandezza. Vogel, Cornu, Copeland e Backhouse istituirono accurate osservazioni spettroscopiche di quella stella. Secondo le osservazioni di Vogel nello spettro della stella apparvero nettamente ed ordinatamente linee chiare ed oscure e bande, le quali però col tempo s'alterarono di molto. Alcune linee lucide, come quelle dell'idrogeno presso C, divennero poco per volta più deboli e finalmente scomparvero del tutto; per contro le linee F dell'idrogeno, non mutarono quasi punto. Un'altra linea di lunghezza d'onda 500 o 501 divenne contemporaneamente sempre più forte, finchè divenne la più ragguardevole di tutte. Essa è identica colla linea più lucida nello spettro delle vere nebulose. Secondo Scheiner, si possono stabilire, come media delle osservazioni di quei fisici le seguenti linee lucide: lunghezza d'onda 658, linea dell'idrogeno; 594?; 588 linea dell'elio; 581 tipica per le stelle Wolf-Rayet; 530 linea della cromosfera (Corona); 516?; 501 la più lucida linea delle nebulose; 496, seconda linea delle nebulose?; 485, linea dell'idrogeno; 468?; 456?; 451?; 435 linea dell'idrogeno.

Dall'osservazione continuata dello spettro risultò chiaramente, come la banda colorata continua impallidiva poco per volta, specialmente dal lato violetto, finchè l'aspetto divenne esattamente quello dello spettro di una nebulosa. Non si potè quindi più dubitare, che in questa stella come in *Nova Coronae*, si presentino gas incandescenti, come quelli che si presentano nei più eccelsi strati della nostra atmosfera solare e nelle nebulose, i quali debbono avere una parte importante nei misteriosi processi a mezzo dei quali le stelle così dette nuove si fanno a noi manifeste. Si pensò, che grandiose eruzioni di gas incandescenti erompano dalle superficie già raffreddate di questi astri, probabilmente causate dal cozzo di un altro corpo oscuro, ovvero anche, che nelle atmosfere di questi corpi celesti avvengano repentine combinazioni di gas, analoghe a quelle dell'idrogeno coll'ossigeno, producenti tremende esplosioni.

Ma la Nova successiva si comportò ben diversamente. Essa, come si disse, si mostrò in mezzo alla grande nebulosa d'Andromeda, che ci ha già interessato parecchie volte. Gully in Rouen, nella sera del 17 agosto 1885 vide una stella di sesta grandezza presso la condensazione centrale della nebulosa, distante dal mezzo di circa 17 secondi d'arco verso nord-est, come appare dalla figura 192, la quale stella era così ancora visibile ad occhio nudo. Nei giorni precedenti presumibilmente essa non era ancora notevole. Come tutte le altre stelle nuove essa diminuì presto di splendore; ciò però avvenne con un andamento sempre più lento; al principio di settembre la stella era ancora di ottava grandezza, di decima alla metà di ottobre, di undicesima un mese più tardi, di dodicesima in gennaio 1886, ed è di poi lentamente scomparsa. Poichè la nebulosa d'Orione non appartiene alle vere nebulose gasose, ma bensì probabilmente è essenzialmente un ammasso stellare denso, così è da ritenersi che la stella apparteneva a quella folla che s'addensa attorno al centro della coacervazione e che poi vi si è di nuovo perduta. Abbiamo già precedentemente accennato che le stelle variabili sono particolarmente frequenti nelle coacervazioni stellari; se ora si ritiene che le cause della periodicità delle variabili siano affini a quelle che cagionano l'apparizione delle stelle nuove, allora si può spiegare come queste ultime si presentino del

pari negli ammassi stellari. Anche la Nova del 1860 si trovò in un così fatto ammasso. Ora poichè tutta la Via Lattea non è che un grande ammasso stellare, così è straordinariamente suggestivo il fatto che tutte le stelle nuove senza eccezione appariscano soltanto nei rami più notevoli della Via Lattea: per questo rispetto è particolarmente ricco il campo compreso dallo Scorpione, dal Sagittario

Fig. 192. — La Nebulosa d'Andromeda colla nuova stella (*n*) del 1885, secondo A. Riccò. *a*, *b*, *c*, sono tre stelle fisse di Andromeda (V. figura 193).

e dal Serpentario (Ofiuco), ove la Via Lattea, che vi si biforca, ha la sua massima larghezza, e con ciò dinota che noi siamo vicini di molto a questa parte del suo percorso.

Lo spettro della nuova stella nella nebulosa d'Andromeda deviò però di molto da quello delle due stelle temporanee precedenti; esso fu esaminato particolarmente da Vogel e Maunder. Si mostrò quale uno spettro perfettamente continuo, senza alcuna traccia di linee chiare od oscure. Vogel congetturò soltanto un passeggiero presentarsi di linee lucide e d'altronde è d'accordo con Maunder. La fascia colorata impallidì poco per volta, coll'indebolirsi della stella, senza però mostrare delle variazioni. Gli spettri quindi di tutte tre le stelle nuove fino allora esaminate diversificarono fra loro; la Nova Coronae a somiglianza di quella del Cigno,

mostrò uno spettro misto di linee chiare ed oscure; ma nella prima in principio dominavano le linee lucide, finchè lo spettro poco per volta trapassò in quello ordinario, quale appare ancora oggi. La stella è rimasta di decima grandezza. La *Nova Cygni* per contro si comportò in modo opposto: le linee lucide si mostrarono dapprima assai poco, e da ultimo erano ancora presenti quasi esclusivamente, mentre lo spettro continuo era passato affatto in seconda linea. Nella nuova stella della nebulosa d'Andromeda le linee lucide non erano generalmente presenti od al più appena accennate. Quindi il brillare di questa stella non è da attribuirsi per la parte principale ad eruzioni di gas o ad esplosioni, come fu congetturato delle due stelle nuove precedenti. Se tuttavia per la spiegazione di questi fenomeni si vogliono accampare rivoluzioni, avvenute alla superficie di un corpo raffreddato, ci sarebbe soltanto da pensare ad un'inondazione di una crosta già indurita, prodotta dall'efflusso del magma interno incandescente.

Fig. 193. — Cartina estratta dalla *Durchmusterung* di Bonne, che vale a far vedere la posizione della nuova stella in Andromeda; α è una stella fissa di Andromeda (V. figura 192).

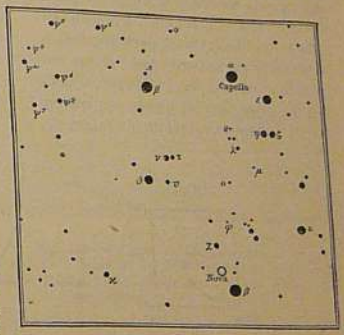


Fig. 194. — Dintorni della *Nova Aurigae* del 1892.

Questa inondazione potè diffondersi sopra tutto il corpo celeste o soltanto sovra parte di esso, senza raggiungere uno spessore considerevole, in causa del che il raffreddamento doveva procedere relativamente rapido. Seeliger ha esaminato questa ipotesi da vicino col calcolo, paragonando la regolarità osservata della diminuzione della luce, colle condizioni della teoria del calore dipendenti dalla ipotesi fatta, e giunse ad un risultato soddisfacente. La causa dell'inondazione sarebbe da cercarsi in un urto di una piccola massa col corpo oscuro più grosso.

La *Nova Aurigae* (Cocchiere) del 1892 ha apportato affatto nuove contribuzioni alle nostre vedute sulle stelle nuove. L'Astronomia ripete anche questa interessante scoperta da un dilettante. La scoperta fu annunziata il 1° gennaio anonimamente; e realmente si trovò al luogo indicato fra χ e 26 *Aurigae* una stella di quinta grandezza, che non era registrata in alcun catalogo. La sua posizione è data nella piccola carta della figura 194. Più tardi il Rev. Anderson in Edimburgo si appalesò quale lo scopritore; egli aveva veduto la stella per la prima volta il 23 gennaio 1892. Si potè poi in seguito constatare che la stella aveva già passato il suo massimo quando fu scoperta dall'occhio umano. Pickering constatò in Cambridge (Nord America) che la stella era già stata fotografata tredici

volte in America prima di venire scoperta da Anderson, e potè ciò fare esaminando minutamente il ricco materiale dei suoi rilievi fotografici, che solo dopo lungo tempo venne sottoposto a rivista ed esatta misura. Per contro altri diciotto fotogrammi, che furono fatti della medesima regione fra il 3 novembre 1885 ed il 2 novembre 1892 e contengono stelle fino alla tredicesima grandezza, non mostrano traccia alcuna del nuovo astro. Dai rilievi successivi risultò che al principio di dicembre 1891, la nuova stella era di settima grandezza, e che il 6 dicembre raggiunse la sesta; il 20 dicembre essa aveva toccato il suo massimo con una grandezza 4,4. Quindi la stella fu visibile almeno per 4 o 5 settimane ad occhio nudo, senza venir scoperta. È molto da rimpiangersi, che ad essa non si sia potuto tener dietro con osservazioni all'oculare in quel tempo medesimo, poichè precisamente allora essa mostrò il fenomeno di un aumento relativamente lento, all'opposto di tutte le altre stelle nuove, fenomeno del quale sarebbe stato importantissimo lo studiare le particolarità così curiose, e di grande momento per la conoscenza della natura misteriosa di queste apparizioni celesti certamente prodotte da catastrofe.

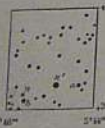


Fig. 195. — Carta per rendere manifesta la posizione della *Nova Orionis*. Secondo la *Durchmusterung* di Bonne (V. figura 196).

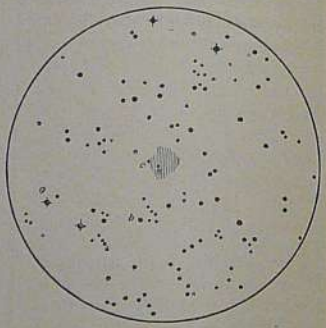


Fig. 196. — La nuova stella (n) in Orione, del 1885, coi suoi dintorni. Secondo A. Riccò. *a*, *b*, *c*, sono stelle fisse in Orione.

Mentre tutte le altre stelle si mostrarono repentinamente, e di alcune si potè con sicurezza constatare che in poche ore crebbero di parecchie classi di grandezza, la Nova Aurigae impiegò almeno otto giorni per salire dall'ottava alla quinta grandezza. Ma la curva dello splendore della nuova stella diversificò da quella delle altre non solamente nel ramo ascendente, ma anche in quello discendente; lo splendore diminuì dapprima soltanto di poco, ed oscillò notevolmente in ciò in su ed in giù, al 4 marzo era ancora di grandezza 5,7, quindi nell'intervallo di due o tre mesi diminuì di poco più di una classe di grandezza. Da quel momento la luce della stella repentinamente diminuì rapidamente; il 6 marzo essa era di grandezza 6,5; il 13 di ottava; il 17 di nona; il 23 di decima grandezza e così via: finchè alla fine d'aprile sembrò d'un tratto scomparsa. Flammarion dedusse da tutte le osservazioni la curva dello splendore che riproduciamo nella figura 197. Il principio della curva segnato a tratti, che corrisponde ad epoche precedenti il 10 dicembre, si fonda soltanto sopra congetture; in ogni caso però allora si verificò un rapido incremento, così che il ramo ascendente della curva deve in realtà

accostarsi, quasi a coincidere con quello discendente preceduto da uno stato di stabilità abbastanza lungo ma non perfetto, a differenza di tutte le altre stelle analoghe. Dopo poi, quando gli osservatori avevano quasi dimenticato la stella, e solo si discuteva vivacemente intorno alla sua natura, essa riapparve di nuovo improvvisamente nel 1892, e precisamente come nebulosa planetaria regolare. Barnard, che la osservò col grande refrattore di Lick, le attribuisce la grandezza 10 con un diametro di 3″; sebbene sia, fino ad un diametro di mezzo minuto, circondata da una pallida aureola nebulare. L'oggetto si mantenne in questa forma mutata durante dei mesi, quasi invariato, e potè venire sottoposto alle più precise investigazioni: invece di una nuova stella si aveva davanti una nuova nebulosa, l'unica che si sia mai veduta prodursi.

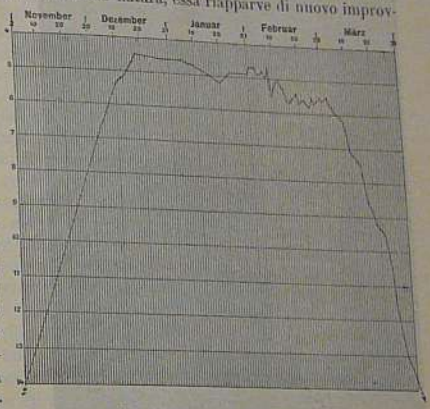


Fig. 197. — Curva dello splendore della nuova stella dell'Auriga del 1891-92. Secondo Flammarion.
November: Novembre — *Dezember*: Dicembre — *Januar*: Gennaio
Februar: Febbraio — *März*: Marzo.

Anche le osservazioni spettroscopiche attestano indubbiamente che essa è della natura delle nebulose gasose. Però all'epoca della sua scoperta il nuovo oggetto possedeva anche nello spettroscopio il carattere di una stella nuova: sopra uno spettro continuo si mostravano chiaramente linee chiare ed oscure. Lo riproduciamo nella figura 198, come fu misurato da Campbell nell'Osservatorio Lick il 28 febbraio 1892. D'un tratto cessa lo speciale carattere dello spettro, le cui linee chiare con poche eccezioni vengono immediatamente limitate da altre oscure, e precisamente sempre dalla stessa parte, verso il violetto. Perciò era in precedenza certo che lo spettro proveniva da due differenti sorgenti luminose; delle quali l'una produceva essenzialmente linee chiare, l'altra linee oscure, e che esse erano l'una rispetto all'altra animate da un movimento eccezionalmente rapido. Gli spostamenti delle linee mostrarono almeno 900 km. al minuto secondo; ciò è più di quanto si sia mai riscontrato in un corpo celeste; solo ad esso è da porsi vicino il movimento di poche comete che quasi rasentarono la superficie del Sole, e precisamente quando passarono vicino a questo. Anche in questa stella, come in quella del 1876, lo spettro continuo diminuì col tempo d'intensità; quando essa riapparve in agosto sotto forma di nebulosa, anche il suo spettro era divenuto quello di una nebulosa, come già si accennò più sopra. Nella figura 198 è rappresentato lo spettro fotografico di quel misterioso oggetto quale fu ottenuto da Campbell a quell'epoca. Le linee coincidono con quelle dell'altro ottenuto prima, soltanto la fascia colorata

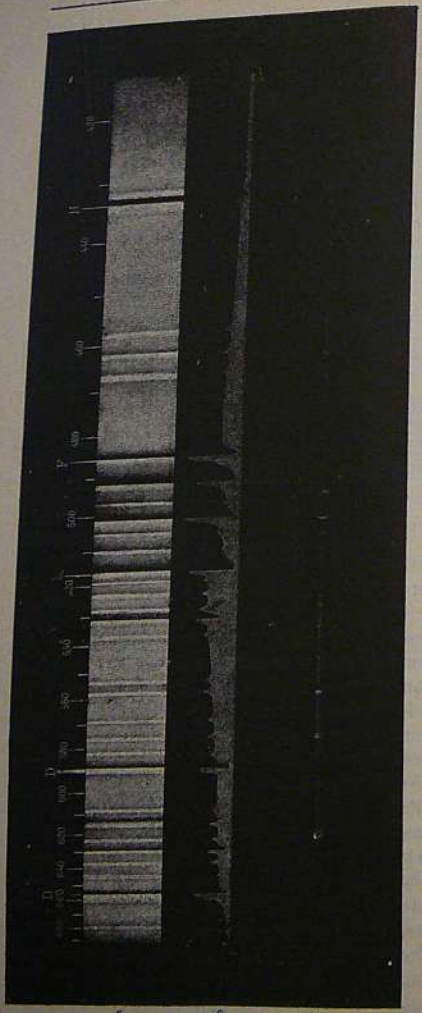


Fig. 198. — Spettro della nuova stella nell'Auriga: a) il 26 febbraio 1892; b) curva della luminosità di questo spettro; c) nell'agosto 1892. Secondo Campbell.

e le linee oscure sono interamente scomparse. Il paragone della posizione di queste linee lucide con quelle di nebulose gasose conoscinte, particolarmente di quella di Orione, dimostrò una coincidenza straordinaria: non soltanto le quattro linee delle nebulose, ma ancora altre tredici, che furono misurate da Campbell col confronto con cinque diverse nebulose, coincidevano con quelle della nuova nebulosa gasosa, come oramai la si doveva chiamare.

Naturalmente si pensò al modo col quale si potevano spiegare tutti i fatti constatati dall'osservazione, onde ottenere una rappresentazione intelligibile dei processi, che devono essersi svolti in quegli spazii lontani dell'universo; e il Vogel pensò dapprima ad una grandiosa catastrofe di mondi, della quale noi saremmo stati testimoni. Un grosso corpo oscuro sarebbe precipitato con inaudita velocità in mezzo ad un sistema solare ben ordinato e composto di parecchi pianeti, ed avrebbe d'un tratto distrutto l'ordine e la quiete. Se anche il corpo estraneo non colpì direttamente l'astro centrale ritenuto in uno stato già di raffreddamento, tuttavia esso passandogli assai vicino dovette colla sua potente attrazione

sull'interno ancora fluido provocare delle energiche manifestazioni di maree, le quali infransero la crosta erompendo in immani eruzioni di gas; queste enormi protuberanze inalzantisi con vertiginosa velocità, sarebbero l'origine delle linee lucide fortemente spostate, mentre l'altro corpo, divenuto del pari incandescente, e circondato da gas a temperatura più bassa, avrebbe prodotto le linee oscure. Contro questa opinione Seeliger sollevò delle obbiezioni, fondate particolarmente sulla esistenza della enorme velocità del corpo penetrante, e poi anche sulle fluttuazioni dello splendore del nuovo oggetto, e finalmente anche sulla sua riapparizione nell'agosto 1892. Seeliger spiega i fenomeni constatati dalle osservazioni, con delle considerazioni meno ipotetiche di un incontro di un corpo solare con una massa nebulare molto diffusa, quali quelle che di recente ci furono fatte note specialmente dai rilievi fotografici di Wolf in Heidelberg. Un tale incontro è certamente molto più probabile che quello di un corpo celeste relativamente piccolo con un sistema solare, non altrimenti che, per dirla in breve, si colpisce più facilmente in un disco largo che in uno ristretto. Poichè inoltre i pianeti del sistema solare immaginato, come quelli di qualsiasi altro, per ragioni teoriche, si devono raggruppare attorno ad un piano, così converrebbe ancora supporre, che l'urto debba essere avvenuto assai esattamente nella direzione di questo piano, affinchè il corpo sul suo passaggio potesse attrarre concordemente parecchi pianeti assieme, col che si spiegherebbe il replicato vacillare della luce.

L'ipotesi di Seeliger non presuppone nulla di straordinario. Non dobbiamo riguardare come un'ipotesi, ma come una necessità inevitabile quella, che le masse nebulari, che anche dal nostro lontano punto d'osservazione occupano sulla superficie del Cielo intiere costellazioni, vengano incontrate assai frequentemente da masse cosmiche, Soli e corpi oscuri, i quali, come vedremo meglio, devono senza eccezione muoversi attraverso allo spazio quasi in linea retta. Con ciò rimane senz'altro spiegato tutto quanto si è constatato su questa nuova stella. Nè riesce difficile il chiarire anche la velocità anormale, che le osservazioni spettroscopiche diedero per le masse gasose splendenti che vi si trovarono. Il corpo che s'avvicinava e che produsse le linee di assorbimento, non aveva per contro alcuna velocità eccessiva. Non appena quel corpo giunse relativamente vicino alla massa nebulare, sullo stato di aggregazione della quale non ci occorre fare alcuna ipotesi, le particelle di questa, in causa dell'attrazione universale, si mossero verso il corpo penetrante, con velocità sempre crescente, finchè nella sua vicinanza dovettero assumere un'accelerazione ancora maggiore, come le comete del nostro sistema che passarono vicino al Sole. Qui le masse irruenti si accumularono attorno al corpo penetrante, e quindi si convertirono in gas incandescenti, ove già non si fossero in precedenza trovate in questo stato. Nuove masse cadono di continuo dalla nube cosmica e ricevono perciò il carattere spettrale delle linee spostate. Anche le particolarità della curva dello splendore sono senz'altro spiegabili: una tal massa nebulare non ha alcuna delimitazione definita, ma le sue parti esterne debbono, per necessità, essere meno dense di quelle interne, e passa qualche tempo prima che il corpo sia penetrato molto addentro a profondità, nelle quali si verifica una densa distribuzione della materia ad un dipresso regolare. All'uscita della nube avviene naturalmente il fenomeno opposto, mentre nello spazio di tempo intermedio si avvertirono soltanto insignificanti vacillazioni dello splendore che

dovettero verificarsi in causa delle deboli variazioni di densità inevitabili nella nube. Dalle masse gasose, attratte dal corpo penetrato, o che si formarono nelle sue vicinanze immediate, si generò un involucro di gas incandescente che conseguentemente lo fece apparire come una vera nebulosa.

La stella nuova, ultimamente apparsa in *Norma*, si comportò spettroscopicamente in modo simile alle sue precedenti compagne; altre particolarità di essa non si hanno quindi ad esporre qui. Fleming trovò la nuova stella sopra una lastra fotografica del 10 luglio 1893 quale un disco di grandezza 7. Soltanto nel febbraio 1894 essa era discesa ad una grandezza tra la nona e la decima, ed oggi è ancora visibile.

Noi abbiamo già constatato nelle vicende fluttuanti dello splendore della stella nuova del 1600 dei fenomeni simili a quelli di *Nova Aurigae*, i quali però durarono per diecine d'anni.

Se ora noi riassumiamo i fenomeni e le considerazioni che abbiamo raccolto attorno alle stelle nuove e variabili, nelle prime ci colpisce subito il carattere di catastrofe che non si può contestare. Se nel nostro sistema solare risplendesse d'un tratto alcun che con uno splendore cento e mille volte quello che attualmente manifesta il nostro del giorno, ciò sarebbe indubbiamente seguito dalla fine di ogni cosa viva nel suo bel regno. Poichè, dato anche che noi sapessimo porci al riparo dalla inondazione di luce, svoltasi repentinamente, apparentemente incommensurabile, il suo sviluppo però (astraendo dai deboli effetti della fosforescenza e simili) non si potrebbe altrimenti pensare fisicamente che collegato con un aumento di calore corrispondentemente grande, e questo dovrebbe divenire per noi causa di morte inevitabile. Sia quindi qualsivuole il mezzo di spiegazione che noi possiamo immaginare per il brillare di una nuova stella, certo è che queste stelle fiammeggianti sono le fiaccole mortuarie di un mondo che finisce. Sia quindi che sull'astro centrale avvengano bruscamente e senza causa esterna osservabile dal di fuori delle eruzioni gasose straordinariamente grandi, sia che sia avvenuta la penetrazione di un corpo estraneo, nel sistema meteorita immane, sia finalmente che l'immersione in una nube di stelle cadenti insolitamente densa od in una nebulosa abbia prodotto quei fenomeni, il risultato rimane il medesimo: la distruzione di un mondo.

Per fortuna però ci avvediamo anche che queste catastrofi celesti sono estremamente rare: fra cento mila stelle che noi oggidì sorvegliamo attentamente, appena una in dieci anni mostra una volta un simile avvenimento. Possiamo quindi conchiudere a ritroso, che una stella viene a trovarsi in eguale condizione appena una volta in cento mila diecine d'anni. Ma l'impossibilità di un simile fatto non può venire in precedenza stabilita per nessuna stella del firmamento, per quanto eterna essa ci possa sembrare, nè per il nostro Sole. Le cause delle grandi fluttuazioni di clima, alle quali andò soggetta la nostra Terra nei tempi geologici, non sono neppure oggi conosciute con qualche probabilità. A spiegare questo fatto misterioso si addusse fra le altre una temperatura variabile dello spazio cosmico che il nostro sistema solare deve attraversare. Si comprende facilmente come in causa del vario modo col quale lo spazio celeste è disseminato di polvere cosmica e meteoriti, il penetrare del sistema in una nube di cosiffatti corpuscoli, che secondo Seeliger spiega l'apparizione della *Nova Aurigae* e secondo Lockyer i

fenomeni delle stelle del tipo di Mira, abbia cagionato un'elevazione di temperatura, non dello spazio celeste, ma del corpo che lo attraversa volando. Se fino ad ora ci furono risparmiate vere catastrofi, ciò può avere la sua ragione in ciò, che lo spazio interno della grande coacervazione stellare che è la Via Lattea sembra non essere cosparso di materia condensata, e che quindi qui regna ordine maggiore che non nelle regioni esterne al percorso della Via Lattea, nel quale non solamente le stelle sono più fittamente addensate, ma anche le vere nebulose gasose: attorno a noi la materia è distribuita, pel nostro meglio, molto parsimoniosamente; i Soli stanno tra loro a distanze manifestamente prodigalmente grandi, e possono quindi svilupparsi non disturbati in ordine bellissimo. Altrimenti è in quelle regioni esterne ed in quei lontani e densi ammassi stellari; colà la selvaggia lotta per l'esistenza che i corpi celesti ancora più vivamente l'un contro l'altro combattono, che non gli esseri viventi, arde ancora furente, e durerà finchè coll'accumularsi sempre progressivo delle masse che s'oppongono ai loro movimenti ed al loro sviluppo, si siano procacciato spazio bastante. Perciò noi vediamo la massima parte delle " variabili „ negli ammassi stellari, perciò già in due di essi apparvero stelle nuove, perciò tutte le stelle temporanee brillarono entro alla luminosa cintura della Via Lattea, perciò le nostre pacifiche regioni del regno celeste rimarranno, come si spera, per sempre all'infuori da quelle lotte di distruzione dei corpi celesti fra loro.

Noi siamo stati condotti a completare così il concetto di evoluzione dei corpi celesti, che delineammo primamente in occasione delle nostre considerazioni sulle nebulose, e che ci condusse fino all'estinzione dei mondi, senza opinioni preconcette, soltanto nel cercare di trovare una spiegazione di quanto si vede direttamente. Le stelle variabili e nuove rappresentano la conclusione della serie di questo sviluppo. Quando, abbandonando il sistema solare, giungemmo attraverso all'infinito al più esteso dominio degli altri Soli, trovammo colà formazioni speciali che riempivano spazi enormi, di molteplici materie gasose lucenti, e le cui multiformi configurazioni accennavano alla loro graduale condensazione e finalmente al loro scindersi in stelle separate. Del pari per alcune di esse concludemmo che esse per un motivo ignorato dovevano trovarsi in movimento di rotazione. In quell'occasione avvertimmo che molte di queste nebulose a spirale sono accompagnate da una piccola nebulosa, il cui incontro colla maggiore può ben aver prodotto la rotazione. Nel presente capitolo a questo riguardo constatammo come complemento, che tali incontri di corpi, benchè rari, pur tuttavia avvengono occasionalmente. Inoltre la disposizione delle stelle, ordinata secondo il loro spettro, ci mostrò che esse debbono essere diversamente calde, e che le più calde sono quelle che più si accostano al carattere di nebulosa. In connessione colla graduale condensazione di queste ultime, e del maggiore, benchè probabilmente graduale sviluppo di calore, in quei processi noi vedemmo generarsi i sistemi di Soli dalle nebulose.

Le stelle doppie, e segnatamente certi tipi di stelle variabili, ci hanno inoltre rivelato parecchie singolarità che non lasciarono dubbio alcuno che quei sistemi di Soli fossero, almeno parzialmente, affini al nostro. Per quanto noi potemmo imparare intorno ai compagni dei Soli e vedere direttamente, trovammo che essi avevano durate di rivoluzione paragonabili con quelle dei nostri pianeti;

altri di tali compagni ci furono rivelati dalle oscurazioni che cagionavano. La posizione però ed il movimento di questi corpi erano essenzialmente diversi dai rapporti che si verificano nel nostro sistema, ma, corpi oscuri, essi rappresentavano la formazione di pianeti anche in quelle remote regioni dello spazio. Altri astri variabili ci diedero notizia o di alcun che d'analogo a macchie periodiche, alle quali anche i Soli degli altri sistemi vanno soggetti, o di processi di raffreddamento simili a quelli che la nostra Terra deve avere altra volta attraversato, ed ai quali va incontro anche il nostro astro centrale. Se aggiungasi che si sono scoperte traccie di sciami di meteoriti, ai quali riconoscemmo una parte non insignificante nello svolgimento dell'evoluzione dell'Universo, allora noi dobbiamo ammettere che dalla mera ispezione degli astri e dal loro esame spettroscopico a quelle enormi distanze che da essi ci separano, non si sarebbe mai potuto sperare di scoprire fra tutti maggiore affinità. Finalmente colle stelle nuove giungemmo ad una specie di conclusione di questo processo di sviluppo; mondi già raffreddati tramontarono, essi ritornarono all'incandescenza, e quindi di nuovo in una più giovane fase di sviluppo, anzi noi vedemmo uno di questi corpi ritornare allo stato di nebulosa, e potemmo quindi congetturare che esso era in condizioni da potere ancora una volta rivivere l'intero ciclo di una creazione di mondi.

Qui dobbiamo provvisoriamente fermarci, giacchè ci mancano ancora le basi di dimostrazione troppo profondamente poste, per un ulteriore prosecuzione del grande concetto di creazione, del quale noi, in quanto precede, potemmo finora solo afferrare di passata qualche lembo. Questi argomenti essenzialmente più atti alla dimostrazione dell'unità dell'universo, si possono solo ricavare dalle leggi comuni che regolano i movimenti di tutti i corpi celesti ed in tutto lo spazio. Ci occuperemo di questi movimenti nella Seconda Sezione della presente opera.

II.

I MOVIMENTI DEI CORPI CELESTI

1. — Gli apparecchi astronomici di misura.

Per determinare i movimenti dei corpi celesti, quali si presentano alla nostra misura fatta dalla Terra ove viviamo, quale posizione fondamentale fissa, ci occorrono due specie di congegni: gli uni debbono permetterci di trovare la via che un corpo descrive nel suo corso, dapprima solo apparentemente, cioè per il nostro luogo d'osservazione; gli altri la durata di tempo nella quale quella via è percorsa. Noi abbisognamo cioè d'istrumenti per la misura dello spazio percorso e del tempo.

Per poterci orientare circa la natura dei movimenti, allo studio dei quali ci servono gli apparecchi misuratori dello spazio percorso, rivolgiamo senz'altro la nostra attenzione al Sole. Per tener dietro ai suoi movimenti, possiamo con una certa esattezza servirci delle ombre proiettate dagli oggetti. I grandi obelischi, che gli Egiziani elevavano sulle loro piazze spaziose, servivano in prima linea all'osservazione del Sole, colla misura della lunghezza della loro ombra nei varii giorni dell'anno. Negli osservatorii dei Babilonesi venivano innalzati i così detti *gnomoni*, che erano per lo più alte colonne, sulla cima delle quali era collocato un disco provveduto di un buco, così che il raggio di Sole che attraversando quel buco cadeva sopra un piano orizzontale faceva conoscere la posizione del Sole. Molte delle nostre chiese sono ancora provvedute di una tale apertura che serviva alle osservazioni sulla posizione del Sole. La figura 199, che rappresenta un osservatorio indiano, mostra un certo numero di curiose costruzioni, che servivano del pari all'osservazione dell'ombra causata dal Sole, e parzialmente anche a quella di altri astri. Essi constano tutti di un muro diritto col lembo ascendente diversamente inclinato. Esso è circondato da una porzione di muro circolare, sul quale si misura la posizione dell'ombra dell'orlo del muro rettilineo, per dedurne poi l'altezza dell'astro sopra l'orizzonte.

Se teniamo dietro ai dati di un gnomone, noi constatiamo subito che il Sole dal sorgere al tramontare descrive un arco di cerchio massimo, e che raggiunge il suo punto più alto precisamente a metà del tempo impiegato a percorrere l'arco

Se noi misuriamo la lunghezza dell'ombra in un qualsiasi momento del mattino, ed aspettiamo poi finchè essa nel pomeriggio abbia raggiunto di nuovo la stessa lunghezza, e tracciamo in pari tempo le direzioni di queste due ombre sopra una superficie orizzontale, l'ombra più corta in quel giorno si troverà sempre lungo la retta che divide per metà l'angolo fatto da quelle direzioni delle due ombre

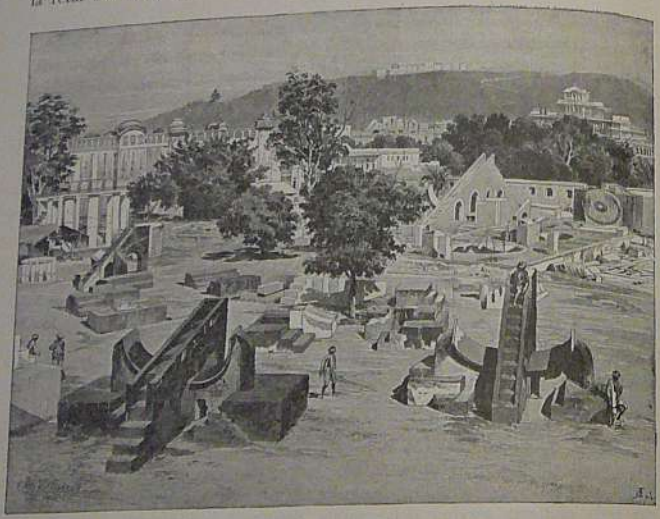


Fig. 199. — Osservatorio indiano. Da una fotografia del Dr H. Boeck.

segnate. La direzione, nella quale si misura l'ombra più breve, rimane sempre la stessa, sia che noi ci rechiamo dall'emisfero Nord a quello Sud, nel quale l'ombra a mezzodì cade in direzione opposta a quella dell'emisfero settentrionale. Questa direzione della linea del mezzodì ha quindi per ogni punto della Terra, che noi scegliamo per l'osservazione dei movimenti celesti, una direzione celeste fissa. Là ove essa incontra apparentemente l'orizzonte abbiamo rispettivamente i punti Nord e Sud: quindi guardando la regione del Cielo che sovrasta al punto Sud, a mezzogiorno, se il cielo è sereno, vi scorgiamo sempre il Sole, però ad altezze differenti.

Dal gnomone, che assieme alla linea meridiana passante per il suo piede, è tracciata una volta per sempre, basta a studiare le particolarità del movimento del Sole, nacque più tardi il *quadrante murale*. La figura 200 rappresenta il quadrante di Tycho Brahe, col quale quel zelante osservatore istituì molte misure, che più tardi permisero al suo allievo Keplero di fare la sua grande scoperta delle leggi del movimento dei pianeti. In luogo della colonna del gnomone si ha qui

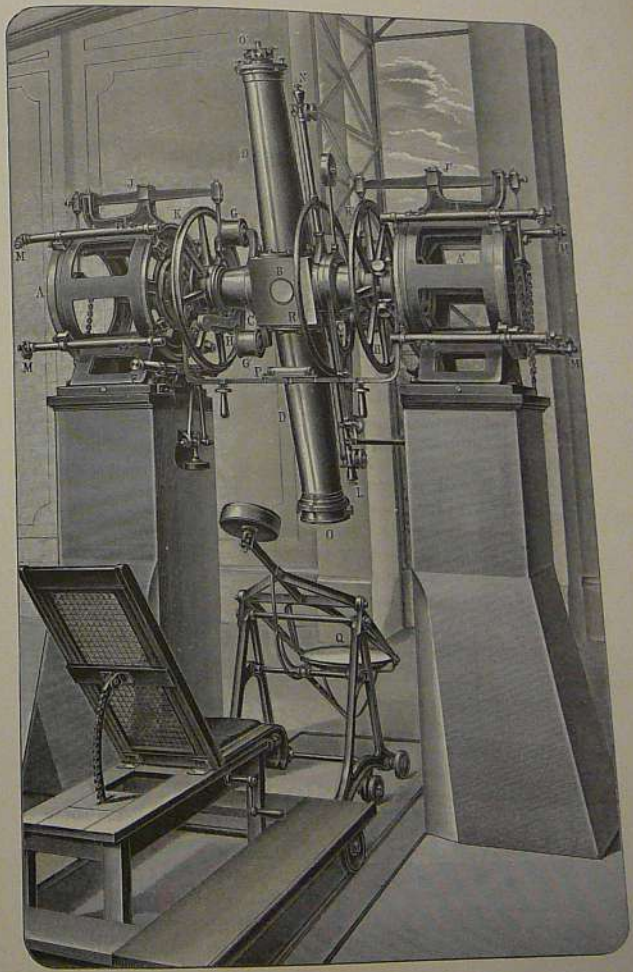
Fig. 200. — Tycho Brahe coi suoi assistenti, sta osservando al quadrante murale. Dalla *Astronomiae instauratae mechanica*.

una parete nella quale sta l'apertura A. Questa parete sta ad angolo retto con un'altra, disposta esattamente nella direzione della linea del mezzogiorno, e su questa è applicato un grande *quadrante* di cerchio, che, come al solito, è diviso in 90 gradi. Su in alto, proprio dirimpetto perpendicolarmente all'apertura A, in C, comincia con 0 gradi la divisione, che termina con 90 gradi in B verticalmente sotto l'apertura. Sul quadrante si trovano una o parecchie diottre DE, con un disco opaco, provveduto di un foro e scorrevole in su e in giù. Ora se un raggio di Sole, attraversando l'apertura A, cade sopra una di queste diottre, il Sole in quel momento passa per la linea meridiana, giacchè la diottra è disposta in essa. La posizione della diottra sulla graduazione del quadrante, dà contemporaneamente l'altezza meridiana del Sole. Con ciò è completamente fissata la

posizione dell'astro rispetto a punti fissi della superficie terrestre. Come vedremo meglio più tardi, tutti gli astri nel loro movimento diurno, raggiungono la loro posizione più elevata (culminazione) nella direzione della linea meridiana. Questa linea, condotta dal punto Sud dell'orizzonte, passa per il punto verticalmente sopra il nostro capo e va fino al punto Nord, girando così in semicerchio pel zenit della vôlta celeste; essa dicesi il meridiano del luogo d'osservazione. Ora se al momento del passaggio al meridiano si misura sul quadrante murale, in gradi, l'altezza dell'astro, allora la sua posizione in Cielo resta fissata rispetto ad un punto della superficie terrestre. Si può in ogni momento indicare così sempre di poi il punto del Cielo, nel quale l'astro si trovava, un dato numero di anni, giorni, ecc., prima. E ciò è di capitale importanza per le nostre ricerche.

Dopochè furono trovate le lenti, il quadrante si trasformò poco per volta nel circolo meridiano, il più delicato istrumento per le misure in Cielo dette assolute. La parte del cerchio meridiano che per lo più salta all'occhio è il cannocchiale, sebbene esso nelle misure abbia soltanto una parte relativamente secondaria, quella cioè di ingrandire col suo potere anche il movimento apparente degli oggetti, affinchè con maggior sicurezza si possa afferrare il momento del passaggio di questi al meridiano. Il cannocchiale sostanzialmente qui non fa che sostituire la parte della diottra nel quadrante murale. S'intende facilmente poi, come col cannocchiale si possano vedere e misurare cose che sono inafferrabili all'occhio nudo. Questo cannocchiale è così disposto, che una stella, che passi precisamente pel meridiano, manda il suo raggio esattamente nel mezzo di esso. Per rendere ciò possibile, per ogni stella che culmini ad una qualsivoglia altezza sull'orizzonte, il cannocchiale, a metà del suo asse di lunghezza (asse ottico), è provvisto di un asse normale ad esso, portato orizzontalmente da due sostegni, così che l'asse ottico può ruotare intorno ad esso.

Nella qui unita tavola, che rappresenta il circolo meridiano di Strasburgo, il cannocchiale è col suo asse ottico OO′ diretto dall'alto in basso; l'asse orizzontale va da A in A′. Per ottenere nel cannocchiale un punto fisso, al quale si possano riferire tutte le misure, si è posto dietro all'oculare in O′, dove l'obbiettivo O forma l'immagine dell'astro, la quale guardata coll'oculare appare ingrandita, una coppia di fili di ragno, tesi orizzontalmente e fra loro molto vicini: fra essi scorre la stella, che nel suo passaggio al meridiano procede sempre orizzontalmente. Perpendicolarmente ad essi è disteso un altro sistema di fili raggruppati simmetricamente attorno ad uno mediano. Si cerca poi di ottenere una posizione del cannocchiale tale che questo filo mediano venga a giacere sul piano meridiano. Se ciò deve essere possibile in tutte le posizioni, così, poichè il piano meridiano è perpendicolare all'orizzonte, si deve innanzi tutto curare che l'asse AA′ sia esattamente orizzontale. Per verificare se ciò avviene si appende all'asse una livella P. Nella parte della livella, ove la bolla d'aria sovrasta al liquido, è tracciata una divisione in parti, sul tubo di vetro debolmente incurvato; il valore angolare delle parti di questa divisione si può determinare con precisione. Si legge il numero delle graduazioni corrispondenti a ciascun estremo della bolla; si toglie quindi la livella dall'asse e la si inverte, così che il braccio di essa, che prima si trovava a destra, venga ad appoggiarsi sulla parte sinistra dell'asse, e si legge ancora sulla



Circolo meridiano dell'Osservatorio di Strasburgo.

Circolo meridiano dell'Osservatorio di Strasburgo.

(Spiegazione delle lettere)

A, A', Cilindro spezzato in ferro coi sostegni dell'asse.
B, Pezzo centrale a cubo dell'asse del cannocchiale.
C, C', Cono vuoto avvitato a B con zaffi d'acciaio.
D, D', Tubo del cannocchiale.
O, Obbiettivo.
O', Porta oculare coi fili micrometrici.
K, Circolo diviso in parti di 2 in 2' sopra uno stretto lembo d'acciaio.
K', Circolo sussidiario.
M, M', Microscopi per la lettura.
Q, Orizzonte a mercurio.
P, Livello a sospensione.
H, H', Anelli con ganci per diminuire il peso del cannocchiale.
J, J', Bracci a leva con catene e contrappesi.
R, Volante per la rotazione del cannocchiale.
L, N, Morsa e piccolo movimento.
G, G', Contrappesi per bilanciare i pesi di R, L ed N.
F, Cercatore.

graduazione la posizione dei due estremi della bolla (*a*). Con questa inversione si evita un errore che potrebbe essere causato dall'essere i bracci della livella disuguali in lunghezza. Anche la posizione dell'asse non sarà mai esattamente orizzontale. Perciò i sostegni dell'asse sono forniti di viti di posizione, colle quali si possono correggere quegli errori che si trovassero; ma ciò si eseguisce solo quando essi superino una certa misura; come, per lo stesso motivo, non si tocca di continuo un buon orologio. Ora, se si è determinato esattamente l'errore, lo si può sempre introdurre nel calcolo.

I perni cilindrici, che formano gli estremi dell'asse orizzontale, sono formati del migliore acciaio e naturalmente lavorati molto precisamente al tornio; i sopporti sono superficie inclinate di metallo od anche di agata, colle quali i perni hanno sempre comune soltanto una ristretta superficie di contatto. Per diminuire qui l'attrito per quanto è possibile, servono dei contrappesi; l'asse ruota sui piccoli cilindri di frizione H; questi sono appesi ai bracci della leva JJ' all'estremità della quale i contrappesi sono collegati a mezzo di catene. Per lo più i perni soddisfano all'esigenza di avere delle superficie matematicamente cilindriche; però essi vengono per questo rispetto rigorosamente esaminati, dirigendo il cannocchiale secondo varie inclinazioni e livellando in ciascuna posizione esattamente l'asse. Se i perni non hanno alcuna disuguaglianza le letture della livella devono sempre essere uguali.

Poichè coll'istrumento si devono eseguire delle misure riferite ad un punto fisso della superficie terrestre, così i sostegni dei perni devono mutare il meno che è possibile la loro posizione rispetto alla superficie terrestre, ciò si può ottenere soltanto a mezzo di una fondazione solida quanto è possibile dei pilastri, la quale, a seconda della natura del suolo può avere una profondità perfino di 10 metri. Si circondano quei pilastri con uno spazio vuoto, così che l'acqua del suolo li incanna, e perciò essi vengono circondati di un involucro protettore, e rivestiti di feltro e lastra metallica. Con questa ed altre simili disposizioni si procura che i pilastri non sottostiano a nessuna notevole variazione di temperatura che li dilati inegualmente.

Quando con tutte queste precauzioni si sia procurato di rendere per quanto è possibile l'asse AA' orizzontale, oppure si sia provveduto alla possibilità di determinare l'errore corrispondente, pur tuttavia, come facilmente si comprende, non si è ancora giunti ad ottenere che l'asse ottico OO' descriva un cerchio ver-

---

(*a*) [Il procedimento di livellazione, col quale si determina la *costante* od *errore d'inclinazione* dell'asse dell'istrumento, ha d'uopo di qualche aggiunta. Esso procedimento si enuncia così. Si appenda la livella all'asse, la cui inclinazione all'orizzonte si vuol determinare, e si leggano le indicazioni ai due estremi della bolla: si inverta la livella, come è detto nel testo, e si facciano analoghe letture. Si sommino le due letture corrispondenti al medesimo estremo dell'asse, lo stesso si faccia per le due letture corrispondenti all'altro estremo. Si faccia la differenza fra queste due somme; il quarto di essa sarà l'inclinazione cercata, espressa in parti della graduazione della livella. La si convertirà in secondi d'arco, moltiplicandola per il valore in secondi d'arco di una parte della livella, valore che si determina preventivamente. L'asse è elevato da quella parte ove sta l'estremo dell'asse che dà la maggiore somma delle due letture. Per determinare il valore angolare di una parte della livella in Astronomia si usa un apparecchio detto *esaminatore delle livelle.* (O. Z. B.)]

ticale, perchè per ciò occorre ancora la condizione che la retta che congiunge il centro dell'obbiettivo al menzionato incrocicchio dei due fili di ragno mediani all'oculare, formi un angolo retto colla retta che congiunge i centri delle superficie limiti dei perni. Se l'asse ottico è inclinato all'asse orizzontale, allora il cannocchiale anche diretto verticalmente all'insù non vedrà il zenit, come dovrebbe accadere, ma ad esempio un punto a destra di esso; capovolgendo poi il cannocchiale, cioè girandolo di 180° attorno all'asse orizzontale, così da dirigerlo verso il punto diametralmente opposto allo zenit (nadir) (*a*), esso ora devierà verso sinistra. Perciò anche qui si potrà evitare un piccolo errore residuo di questa natura, e che è detto errore di collimazione. La sua grandezza si può determinare in due modi; primo: serve a ciò la così detta osservazione del nadir, per la quale è pronto l'istrumento nella nostra figura. Perciò sotto l'istrumento così rivolto verso il nadir si dispone un vaso piatto ripieno di mercurio, il così detto *orizzonte di mercurio*. Si guardi ora attraverso al cannocchiale dall'alto in O' all'orizzonte di mercurio, e se il cannocchiale si trova in posizione perfettamente verticale, allora l'immagine dell'incrocicchio dei fili dell'oculare, illuminata artificialmente da fianco e riflessa dalla superficie del mercurio, sarà rinviata verticalmente all'insù, così che l'immagine riflessa ed il reale incrocicchio si copriranno completamente. Se invece il telescopio è inclinato alquanto a destra, l'immagine riflessa sarà spostata verso sinistra del doppio dell'errore esistente, ed accanto al reale incrocicchio dei fili si vedrà la sua immagine. Per determinare la grandezza della distanza loro nel piano focale, dietro all'oculare, vicino il più che è possibile ai fili fissi, si è disposto un filo mobile. Gli spostamenti di questo filo mobile sono apprezzabili in misure d'arco (secondi d'arco) a mezzo di una vite micrometrica estremamente fine. Prima di tutto si porta il filo mobile a coincidere col filo fisso medio, si legge l'indicazione della vite micrometrica, quindi si fa che il filo mobile venga a sovrapporsi all'immagine di quello fisso, e si legge ancora l'indicazione della vite micrometrica; la differenza delle due letture dà poi il doppio dell'errore cercato. Ma, come si può vedere, esso è frammisto all'errore d'inclinazione dell'asse orizzontale; giacchè anche quando un sostegno di un perno è più basso dell'altro, il telescopio deve in questa posizione deviare dalla direzione verticale. Ma poichè l'errore d'inclinazione si può determinare a mezzo del livello, è facile il separarlo dall'errore di collimazione.

A mezzo di una disposizione speciale, ed anche senza l'impiego del livello, si possono determinare i due errori servendosi della sola osservazione del Nadir. Sotto il cannocchiale si dispone un piccolo carro scorrevole sopra regoli, il carro è fornito di un sistema di leve, col quale si può sollevare l'istrumento dai sostegni dell'asse e girarlo, così che il perno che stava ad oriente venga a disporsi sull'appoggio occidentale e viceversa; l'istrumento viene così invertito. L'errore di collimazione in questa posizione agisce in senso opposto a quello di prima, l'errore d'inclinazione rimane lo stesso di quello della prima posizione del cannocchiale, giacchè esso è prodotto non dall'istrumento stesso, ma dalla posizione dei

(*a*) [Il nadir è lo zenit degli antipodi].

sostegni fissi dell'asse. Se ora, così stando le cose, si osserva il nadir, seguendo il procedimento già tenuto prima, la differenza delle due osservazioni dà il doppio errore di collimazione soltanto.

Il secondo modo di determinare questo errore si fonda sull'osservazione di una così detta *mira*. Come *mira* può servire un oggetto terrestre sufficientemente lontano, che sia visibile nel campo di visione del cannocchiale vicino al filo medio già tante volte menzionato. Si dispone il cannocchiale in guisa che il filo micrometrico colpisca la mira, si inverte il cannocchiale e si ripete l'osservazione. Questo risultato ottenuto all'orizzonte è senz'altro libero dall'errore d'inclinazione (*a*).

Se sono soddisfatte le condizioni che l'asse sia orizzontale e perpendicolare all'asse ottico del cannocchiale, allora questo asse nel movimento di rotazione del cannocchiale descrive esattamente un piano perpendicolare all'orizzonte e che passa per lo zenit od il nadir. Ma di tali piani verticali ve ne sono evidentemente infiniti, mentre uno solo fra essi è il piano meridiano del luogo d'osservazione e soddisfa alla condizione di passare esattamente per il Sud e per il Nord. Ma questa direzione non è segnata sulla Terra da nulla di particolare; essa si può determinare soltanto a mezzo dell'osservazione di corpi celesti, come già facemmo in modo grossolano colla lunghezza dell'ombra del gnomone.

Prima di esporre come a mezzo del circolo meridiano si possa riferire ad un punto fisso della superficie terrestre delle osservazioni assolute, ci è d'uopo ancora di vedere come ci possiamo assicurare che l'asse di rotazione A A' rimane fisso in direzione. A ciò serve ancora la mira. Ammettiamo prima d'ogni altra cosa che il piano verticale che passa per la mira, lo zenit ed il nadir, sia quello al quale devono venir riferite tutte le osservazioni. Quanto più la mira è lontana dall'istrumento, tanto più scompariranno i piccoli spostamenti di essa che possono essere cagionati da differenze di temperatura, od anche da reali movimenti del suolo. Quindi se si osservano nella mira dei cambiamenti di posizione rispetto al filo di mezzo del cannocchiale, astraendo dagli altri errori dell'istrumento, ciò ne avvertirà che avvengono dei piccoli spostamenti reciproci dei sostegni dell'asse, in direzione orizzontale. Questa deviazione dal piano del meridiano effettivo è detta l'errore azimutale.

La minuta disamina alla quale in ogni grande osservatorio è costantemente sottoposto il circolo meridiano, ha provato che il suolo sotto i nostri piedi è sempre soggetto a lenti movimenti irregolari, di natura complicata e rotatoria. Per lo più questo movimento cammina di pari passo colle stagioni dell'anno. È notevole che da osservazioni continuate durante anni è risultato che i pilastri del circolo meridiano di Berlino hanno un movimento il cui periodo coincide con quello delle macchie solari. Fino in questo minimo dettaglio si fa sentire l'in-

---

(*a*) [Il procedimento è poco chiaramente indicato, è necessario spiegarlo meglio. Si diriga il cannocchiale verso la *mira*, e col filo mobile e relative letture della vite micrometrica si determini la distanza tra la mira ed il filo medio. Si inverta quindi sui suoi sostegni l'istrumento, e si ripeta la stessa operazione col filo mobile; se la distanza tra il filo e la mira risulta uguale a quella di prima, il filo medio passa per l'asse di collimazione, se ciò non è, la metà della differenza delle due distanze micrometriche sarà l'errore di collimazione. (O. Z. B.)].

fluenza del potente astro del giorno; però qui si tratta di deviazioni di pochi secondi d'arco, così che l'osservato spostamento dei pilastri l'uno rispetto all'altro ammonta appena alla decima parte di uno spessore di capello (*a*).

Dopo d'aver con quelle varie manipolazioni determinata esattamente la posizione del piano descritto dal filo mediano dell'istrumento rispetto ad un piano verticale passante per un punto fisso della superficie terrestre, occorre ancora di poter determinare l'elevazione dell'asse ottico sopra una linea orizzontale, la quale passi per il centro dell'istrumento, e ciò per ciascuna osservazione di una stella, la quale attraversi il meridiano scorrendo fra i due fili orizzontali. Pertanto a mezzo dell'istante di questo passaggio che si osserva al filo di mezzo e l'altezza dell'orizzonte alla quale esso avviene, la posizione dell'astro in quell'istante è fissata esattamente rispetto al centro dell'istrumento, vale a dire rispetto ad un punto fisso della superficie terrestre. Il nostro còmpito è così adempito. Per determinare quell'angolo di altezza valgono i circoli K K' posti ai due estremi dell'asse di rotazione, che in una corona circolare d'argento incastrata portano incisa una esattissima graduazione. Per poter così dividere quelle corone o lembi circolari in gradi si costruiscono delle macchine a dividere i cerchi, che eseguiscono la divisione in condizioni del tutto automatiche. Non è sempre la stessa, la sottodivisione del grado fino alla quale devono ancora venire incisi sul cerchio gl'intagli che le segnano: se si va fino al minuto d'arco, bisogna tracciare sul cerchio $360 \times 60 = 21600$ intagli. Il 21601mo intaglio deve coincidere coll'1, altrimenti il lavoro fu inutile. L'esattezza da raggiungersi deve naturalmente oltrepassare di molto il minuto d'arco, non potendo gl'intagli essere tracciati molto più fitti, giacchè vi sono dei limiti per il diametro dei circoli, imposti dalla necessità cui debbono soddisfare, di non alterare la loro forma matematica per il proprio peso.

Per rendere possibile la lettura dei minuti secondi e delle loro frazioni, davanti al lembo circolare sul quale è tracciata la graduazione, sono disposti dei microscopi M M', fissi invariabilmente ai pilastri. All'oculare di ciascuno di questi microscopi, dei quali d'ordinario se ne hanno quattro per ogni parte, si adoperano ancora fili micrometrici fissi e mobili come all'oculare del telescopio stesso. Il filo fisso di uno dei microscopi serve come vero punto d'origine.

Se ora la stella della quale si vuol misurare l'altezza al passaggio al meridiano appare nel campo di visione, allora si muove il cannocchiale finchè la stella si trovi esattamente in mezzo ai due fili orizzontali e percorra così nel suo moto apparente il campo, e poi si fissa l'istrumento a mezzo delle viti L N, in modo che esso non si possa più muovere in nessuna direzione. Nel microscopio fissato sull'origine saranno visibili parecchi intagli della graduazione del cerchio; si notano subito i numeri che si vedono di gradi e minuti. Questi intagli avranno una certa distanza dal filo di ragno fisso del microscopio che noi avevamo assunto quale punto d'origine delle altezze. Questa distanza viene misurata come segue: a mezzo della vite micrometrica si porta il filo mobile a coincidere col filo fisso, e quindi col tratto immediatamente vicino, e si legge di quanto ha girato la vite

(*a*) [Bessel, sommo astronomo tedesco, ammette che lo spessore del capello umano sia di un quindicesimo di millimetro: la decima parte pertanto di uno spessore di capello menzionata nel testo è di $^1/_{150}$ di millimetro $= 0.0066$. (O. Z. B.)].

micrometrica, e si esprime quell'angolo in secondi d'arco (*a*). Anche se la divisione del circolo fosse assolutamente esatta, pur tuttavia si avrebbero degli errori sistematici provenienti dal fatto che il centro del circolo non giace esattamente sulla linea mediana dell'asse di rotazione, il che in termini del mestiere si dice che è eccentrico. Ma in ogni caso questo errore di eccentricità deve agire su punti diametralmente opposti del circolo, cioè distanti fra loro angolarmente di 180°, in versi opposti; quindi collocando un microscopio diametralmente opposto al primo, e prendendo la media delle letture fatte in entrambi, si elimina l'errore di eccentricità. I due altri microscopi dalla medesima parte servono di controllo, per scoprire eventuali errori di graduazione. D'ordinario uno solo dei circoli dell'istrumento è graduato; ma poichè per eliminare una parte degli errori dell'istrumento è necessario di tempo in tempo, durante l'osservazione di invertirlo, così è d'uopo collocare microscopi ad entrambi i pilastri. L'altro circolo K', pure calettato sull'asse, non è graduato, e serve soltanto a stabilire la completa simmetria dell'apparecchio, affinchè delle disuguali flessioni e torsioni delle sue parti metalliche non cagionino degli errori.

Quando si vuole determinare la posizione di una stella a mezzo del circolo meridiano, bisogna prima determinare i tre principali errori istrumentali, l'inclinazione, la collimazione e l'azimut, e ciò va fatto a nuovo ogni volta, poichè queste quantità cambiano di giorno in giorno. L'altezza alla quale è da aspettarsi il passaggio al meridiano di una data stella è nota ad un dipresso preventivamente al pari del momento del passaggio. Si dà quindi all'istrumento quella corrispondente direzione, e dopo che la stella è comparsa nel campo la si fa andare fra i due fili orizzontali come già si disse. Ora rimane ancora a registrare colla massima esattezza possibile l'istante nel quale la stella passa per il filo di mezzo; ciò fatto, la posizione della stella in quel momento, rispetto ad un punto fisso della superficie terrestre, è stabilita con tutta l'esattezza umanamente raggiungibile.

Tuttavia per rendere l'osservazione di questo passaggio per il filo di mezzo indipendente da un errore accidentale, parallelamente al primo se ne dispongono degli altri a distanze determinate, in numero variabile secondo la necessità. In taluni strumenti di questo genere esso sale perfino a 25. Le distanze di questi fili dal filo di mezzo, che possono venire scelte ad arbitrio, devono però venire poi determinate con un gran numero di osservazioni, affinchè i passaggi osservati ai fili laterali possano essere *ridotti* a riferirsi al filo di mezzo. Questo reticolato di fili di ragno immediatamente dietro all'oculare, viene perciò tenuto con ogni riguardo dagli astronomi.

(*a*) [Non tutti i microscopi micrometrici per la lettura degli angoli sono costituiti come quello descritto nel testo, e che essenzialmente non è altro che il micrometro filare, del quale si fa molto uso in altri apparecchi d'astronomia. Gli istrumenti così costrutti non sono atti a dare un'approssimazione maggiore di cinque secondi d'arco, ora per molte ricerche d'astronomia e di geodesia quell'approssimazione non è più sufficiente. Allora si ricorre ad altri mezzi, che qui non è il caso di descrivere, i trattati di astronomia sferica se ne occupano diffusamente, al pari di quelli di geodesia. Fra questi ultimi, come particolarmente chiaro ed esatto, scritto in italiano, rammentiamo quello del prof. Jadanza, *Elementi di Geodesia*. Torino 1895. (O. Z. B.)].

Gli istanti del passaggio di una stella dietro al reticolo dei fili, sono oggi registrati quasi esclusivamente a mezzo di cronografi elettrici. L'orologio astronomico, ad ogni battito del suo pendolo a secondi chiude un contatto elettrico, col che vien posta in moto nel cronografo un'àncora, che con una delle sue punte fora un buco in una lista di carta che le si va svolgendo sotto. Così si produce una serie di punti a distanze uguali, corrispondenti ai secondi dell'orologio. Nei cronografi, accanto alla matita che segna i secondi, se ne trova un secondo che può venir messa in attività a volontà dell'osservatore col premere sopra un bottone elettrico, così da intercalare un altro punto fra quelli corrispondenti ai minuti secondi. Ora se l'osservatore preme il bottone ad ogni passaggio di una stella dietro uno dei fili che egli vede, sul cronografo vengono a registrarsi gli istanti osservati, e dopo l'osservazione, misurando la distanza di un punto d'osservazione da due punti dei minuti secondi immediatamente vicini, si può determinare la frazione di secondo, nel quale l'osservazione è stata fatta. Con questo metodo si può spingere l'esattezza dell'osservazione fino ad alcuni centesimi di minuto secondo.

Ma l'osservazione stessa non è riuscita sinora che assai lontanamente ad una tale esattezza. Il congegno fisiologico dei nostri sensi, non lavora che molto più adagio e meno esattamente di quelli elettrici che registrano l'impressione dei nostri sensi nel modo detto, ed anche questi apparecchi, ad esempio le elettrocalamite che vi si trovano, richiedono un certo tempo per venire eccitati e posti in attività. L'astronomo cerca di rendersi indipendente anche da tutti questi errori. Fra l'istante in cui accade un avvenimento e quello nel quale esso viene a nostra conoscenza, a mezzo dei nostri sensi, intercede un certo tempo avvertibile, un altro intervallo di tempo è da noi impiegato a prender la decisione di eseguire un atto qualunque; ad esempio quello di muovere il bottone elettrico di pressione, che si tiene in mano durante l'osservazione; finalmente anche la reazione muscolare impiega un certo tempo nell'esecuzione dell'atto. Se anche la somma di tutti questi ritardi non ammonta che a frazioni di un minuto secondo, tuttavia bisogna tenerne conto per riguardo alla ognor crescente precisione che l'astronomo desidera, tanto più che l'esperienza dimostra che questa differenza di percezione, cui fu dato il nome di *equazione personale*, è diversa secondo le diverse persone e le differenti condizioni della medesima persona. Nelle misure astronomiche occorre spesso di dover misurare soltanto l'intervallo di tempo che intercede fra il prodursi di un avvenimento ed il verificarsi di un altro. Quindi se l'" equazione personale „ di un osservatore rimane costante entro limiti ammessibili, egli potrà determinare tali differenze, anche ignorando la sua propria equazione personale. Spesso poi i problemi proposti sono di tale natura, che le osservazioni necessarie alla loro risoluzione non possono venir eseguite da un solo osservatore, allora gli astronomi che partecipano al lavoro comune possono determinare la differenza delle loro equazioni personali " assolute „, la qual differenza fu, non a ragione, detta l'equazione personale fra i due; e ciò allo scopo di poter ridurre le osservazioni dell'uno a quelle dell'altro.

Tutta la misura astronomica è veramente oggi divenuta una scienza che si occupa di quantità della grandezza di spessori di capello, e si istituiscono durante degli anni delle osservazioni e dei calcoli, per determinare certe costanti, quali ad

esempio la parallasse solare, le quali sono già note fino a circa cinque centesimi di secondo d'arco, approssimate fino invece ad uno o due centesimi di secondo. Ma neppure i più abili osservatori, coi migliori strumenti, non raggiungono con misure singole una tale esattezza; col circolo meridiano una sola osservazione di passaggio sarà esatta al più fino ad un mezzo secondo d'arco, astraendo però da errori accidentali, che sempre ed ovunque s'infiltrano.

È possibile il liberarsi da tali influenze che non si possono computare soltanto colla ripetizione frequente delle osservazioni che conducono al medesimo risultato, ammettendo che quelle influenze agiscano in media sul risultato tanto spesso in un senso quanto in un altro, il valore medio ne sarà quindi indipendente. L'astronomo calcolatore si serve del *metodo* detto dei *minimi quadrati* per riconoscere e rimuovere da un numero sufficientemente grande di osservazioni errori di origine sconosciuta che agiscono sistematicamente: l'impiego del metodo dei minimi quadrati è lunga e tediosa operazione di calcolo, che oggi viene praticata in ogni grande computo astronomico. Il metodo, a mezzo di uno schema semplice e valevole per tutti i casi, permette di dedurre da un gran numero di equazioni, con coefficienti numerici, le quantità incognite, in guisa che, introducendo nelle equazioni i valori trovati, la somma dei quadrati degli errori residui sia una quantità piccola quanto è possibile, e che nello stesso tempo venga soddisfatta la condizione che gli errori non preponderino da nessuna parte.

Noi vediamo come l'astronomo, che si sforza di giungere fino all'estrema esattezza possibile, si veda avvolto da una folla di piccoli errori, e come oggidì il suo còmpito consista quasi esclusivamente nel liberare i risultati già noti da questi ultimi minimi errori che ancora li inquinano; lavoro questo nel quale l'acutezza dello spirito umano ha mietuto i suoi più rigogliosi allori.

Le osservazioni al circolo meridiano hanno l'inconveniente che esse possono venire istituite soltanto al meridiano, quindi ogni volta è d'uopo attendere che la stella attraversi quella direzione meridiana. Se in quell'istante l'osservazione fu impedita dal tempo o stato del cielo, bisogna attendere 24 ore prima che la rotazione della Terra riconduca di nuovo la stella nella posizione medesima. A supplire a questa deficienza serve un istrumento che è costrutto per tutto il resto come il circolo meridiano, solo che i sostegni dei pezzi dell'asse di rotazione, che nel circolo meridiano sono fissi, possono a loro volta venir fatti girare sopra un cerchio orizzontale. L'azimut di questo istrumento, detto l'*altazimut*, può variare sull'orizzonte così da percorrerlo tutto, variando di 360 gradi; esso è perciò atto alla misura delle altezze e degli azimut. Si dice azimut l'angolo fatto dal piano verticale passante per una stella col piano del meridiano e misurato in gradi sull'orizzonte nel senso Sud, Ovest, Nord, Est. La figura 201 rappresenta l'altazimut che si trova all'Osservatorio di Ginevra. In esso O O' corrisponde all'asse di rotazione del circolo meridiano, K al circolo d'altezza di questo istrumento ed M è un microscopio per la lettura di esso. Il telescopio è incastrato nell'asse stesso di rotazione. Dietro all'obbiettivo O, nel cubo metallico P, è disposto un prisma di vetro in guisa che il raggio che cade sull'obbiettivo è deviato ad angolo retto, e lungo l'asse di rotazione è condotto fino all'oculare O'. L'osservatore guarda quindi sempre orizzontalmente nel cannocchiale. Nei maggiori istrumenti di questa specie il telescopio è portato, come nel circolo meridiano, dal cubo P, col che viene

eliminata la nuova fonte di errore introdotta dal prisma. Tutte queste parti sono sostenute dalla colonna C, che è del pari mobile attorno a se stessa, di guisa che diviene l'asse verticale dell'istrumento. Sul circolo orizzontale A, che è disposto esattamente orizzontale, a mezzo dei microscopi M^1 ed M^2 si può determinare l'angolo del quale la parte superiore dell'istrumento ha ruotato fuori del meridiano.

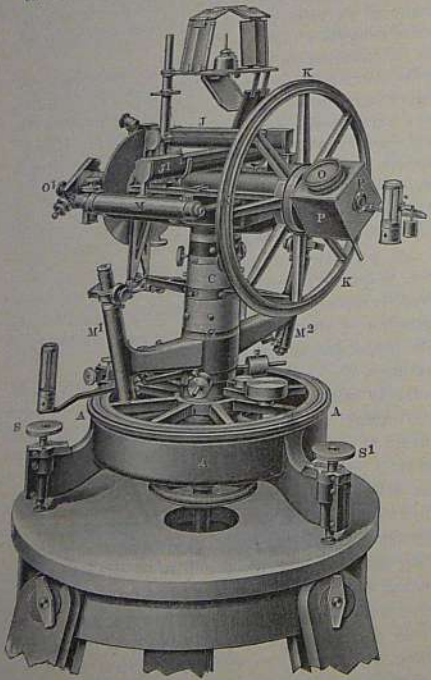


Figura 201. — Altazimut dell'Osservatorio di Ginevra.

Con questa disposizione è reso possibile in qualsiasi istante il poter guardare a qualsiasi stella posta sopra l'orizzonte, ed osservare il passaggio di essa per un qualunque piano verticale diverso dal meridiano. L'altazimut sarebbe quindi da preferirsi incondizionatamente al circolo meridiano, giacchè con esso si possono ripetere a volontà le osservazioni, potendo sempre tener dietro alla stella; quando dalla complicazione dell'istrumento non venissero introdotte nuove cause di errore, che devono necessariamente diminuire la sicurezza delle osservazioni. Si ha da fare con due circoli graduati, e coi loro errori, si deve con gran cura mantenere orizzontale il cerchio azimutale, oppure determinare le sue deviazioni da quella posizione, ed oltre al livello J, osservarne continuamente un secondo J', che è disposto ad angolo retto col primo. Tutta l'indole della sua costituzione rende l'altazimut meno stabile del circolo meridiano che riposa fra solidi pilastri, che per ciò stesso rimarrà sempre il più importante istrumento di precisione dell'astronomo.

Se si dirige l'altazimut ad un punto dell'orizzonte e lo si gira attorno all'asse C, allora la visuale si mantiene nel piano dell'orizzonte, del quale percorre intieri i 360 gradi l'uno dopo l'altro. Per contro se lo giriamo di 90 gradi intorno all'asse orizzontale O'P, così da guardare allo zenit, l'istrumento rimane diretto a questo punto, anche quando lo giriamo in modo qualunque intorno all'asse verticale. Per le direzioni intermedie dell'asse orizzontale, durante la rotazione attorno all'asse

verticale, la visuale traccierà sulla vôlta celeste dei cerchi, che saranno tanto più larghi quanto più vicini all'orizzonte al quale sono paralleli. Così sulla volta celeste si può immaginare segnato un sistema di circoli che corrispondono ai circoli di latitudine sul globo terrestre, quando si scambi l'orizzonte coll'equatore e lo zenit col polo. Questi circoli della sfera celeste paralleli all'orizzonte sono detti *circoli d'altezza*. Come sul globo terrestre i circoli di latitudine sono tagliati normalmente dai meridiani o circoli di longitudine che tutti concorrono nei poli; così sulla sfera celeste i circoli di altezza sono tagliati normalmente dai circoli verticali. Questi tagliano ad angolo retto l'orizzonte che dividono nei suoi gradi azimutali.

A mezzo di questo sistema di circoli noi possiamo fissare sulla vôlta apparente del Cielo la posizione di una stella a mezzo della sua altezza e del suo azimut; non altrimenti che la posizione di un luogo sulla Terra è nota quando si conosce la sua latitudine e la sua longitudine. Per le altezze naturalmente l'origine è data dall'orizzonte, mentre per contare gli azimut si è stabilita una convenzione: essi sono per lo più contati dal punto Sud dell'orizzonte verso Ovest. L'altazimut permette di ritrovare immediatamente una stella, della quale è data per un determinato istante del tempo l'altezza e l'azimut. A tal fine si gira l'asse verticale dell'angolo azimutale, e l'asse orizzontale dell'angolo di elevazione od altezza; dopo ciò all'istante fissato si avrà la stella nel campo di visione.

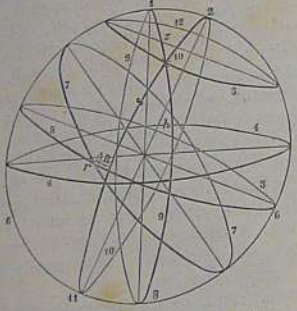
Ma a cagione del movimento diurno della Terra, ogni stella cambia continuamente ad ogni istante d'altezza e di azimut. Quindi ove si voglia costrurre un globo celeste, sul quale le stelle abbiano coordinate invariabili, come lo sono quelle geografiche, bisogna ricorrere ad un altro sistema di cerchi. Questo lo si trova, avvertendo come i movimenti diurni delle stelle si facciano lungo circoli, i quali sono fra loro paralleli e per un dato luogo d'osservazione circondano un punto immobile, il *polo celeste*. La rappresentazione di un rilievo fotografico del polo celeste settentrionale coi suoi dintorni immediati a pagina 50 dà un'immagine di questo movimento. Le traccie delle stelle, come porzioni di circolo, dànno il cammino percorso in Cielo dai varii oggetti lungo la durata dell'esposizione. Gli angoli sottesi al centro da ciascuno di questi circoli sono uguali, giacchè essi sono descritti attorno ad un punto che rimane immobile. Quanto più una stella è lontana da questo punto, tanto più largo è il circolo che essa descrive, finchè la distanza dal polo raggiunge 90 gradi, che corrisponde all'equatore celeste. A partire da questo i circoli vanno di nuovo restringendosi fino al polo Sud, che però per noi rimane sotto l'orizzonte. Astraendo da certi movimenti sistematici proprii degli astri, che sono piccoli in confronto del movimento generale diurno, essi astri rimangono in posizione invariata rispetto all'equatore.

La distanza angolare di una stella dall'equatore contata normalmente a questo, costituisce così una coordinata invariabile di una stella; essa vien detta la *declinazione* (*a*). Quanto manca alla declinazione per fare 90 gradi, il suo complemento, come si dice in geometria, è uguale alla distanza della stella dal polo, e dicesi la

---

(*a*) [Coordinate in geometria, sono certe quantità, quali lunghezze di rette, ampiezze d'angoli che servono a determinare la posizione di un punto. Quel nome fu esteso alla Geografia ed all'Astronomia. La latitudine e la longitudine geografica diconsi le coordinate geografiche di un punto della superficie terrestre. (O. Z. B.)].

sua distanza polare. Ora per poter segnare sul globo celeste la posizione di una stella ci occorre ancora avere un altro sistema di circoli normali a quelli di declinazioni e che passino per i poli celesti. Questi circoli si noverano a mezzo dei loro punti d'incontro coll'equatore, come per i meridiani terrestri sull'equatore terrestre e per i circoli verticali sull'orizzonte. Per origine della numerazione si è scelto un punto, che non è visibile in cielo, ma importantissimo, l'*equinozio di primavera*, che è quello nel quale il Sole nel suo movimento annuo apparente, all'istante del principio della primavera, attraversa l'equatore celeste. A questa seconda coordinata, contata sull'equatore, fu dato il nome di *ascensione retta* di una stella; essa viene contata dall'equinozio di primavera verso Est. Invece di queste due denominazioni, declinazione ed ascensione retta, furono per queste due coordinate proposte quelle molto più chiare di latitudine e longitudine equatoriali, ma queste però non furono mai adottate.

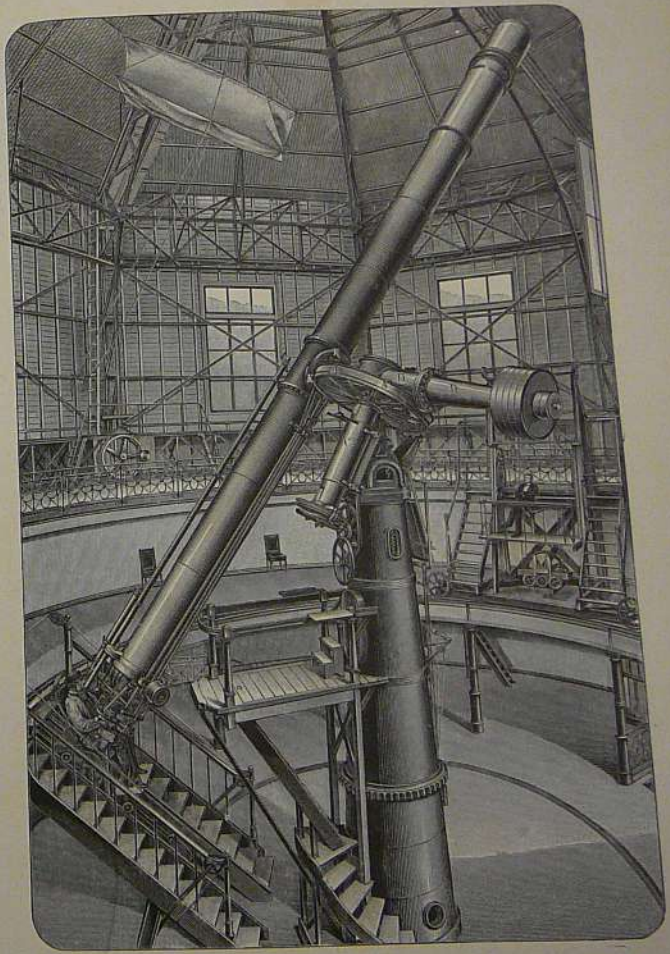


1. Zenit.
2. Polo Nord.
3. Cerchio parallelo.
4. Orizzonte.
5. Equatore.
6. Meridiano.
7. Eclittica
8. Nadir.
9. Circolo verticale.
10. Circolo orario.
11. Polo Sud.
12. Posizione della stella.
γ = Equinozio di primavera.

Fig. 202. — I sistemi di coordinate celesti.

Oltre alle due coppie di sistemi di circoli, dei quali abbiamo discorso, gli astronomi si servono ancora di una terza, la quale però è applicata soltanto nei calcoli, mai nelle osservazioni, le coordinate che vi corrispondono sono la latitudine e la longitudine eclittiche. Esse si riferiscono al cammino apparentemente percorso dal Sole nell'anno, all'eclittica, che possiede una certa inclinazione sull'equatore. In questo sistema, come in quello dell'equatore, le longitudini sono contate a partire dall'equinozio di primavera, che è comune ai due sistemi. Le coordinate di questo sistema sono dette malamente, secondo l'antico sistema, longitudine e latitudine.

Poichè, come già si disse, le coordinate equatoriali di una stella sono invariabili, così a mezzo di un istrumento, che fosse disposto rispetto a questo sistema, a quel modo che l'altazimut lo è rispetto a quello dell'orizzonte, si potrebbe ad ogni istante trovare in cielo ogni stella, della quale fossero note quelle coordinate costanti. Un tale istrumento offre quindi all'osservatore una notevole facilitazione, poichè il calcolo dell'altezza e dell'azimut di una stella, per un dato istante, prende molto tempo. Questa facilitazione ci è pôrta dall'*equatoriale*. Noi intenderemo subito il principio della sua disposizione, se immagineremo l'altazimut girato in modo che il suo asse verticale (C) sia diretto al polo celeste. Sulla nostra rappresentazione del grande equatoriale di Pulkowa (Vedi qui unita tavola) abbiamo ancora segnato con C quest'asse che vien denominato asse polare. Su di esso si trova il circolo A, la cui graduazione non dà più azimut, ma una quantità connessa colla longitudine equatoriale ovvero ascensione retta. Perpendicolarmente all'asse polare e parimenti sopra il circolo A è disposto l'asse



Equatoriale di 32 pollici d'apertura, dell'Osservatorio di Pulkowa presso Pietroburgo.

di declinazione D D', che corrisponde all'asse O' B dell'altazimut; esso ruota come quello, ed il cerchio K, qui molto piccolo, dà, come nell'altazimut, l'angolo del quale ha girato l'istrumento nella direzione rispettiva. Su questo cerchio si legge o gradi, quando l'istrumento è diretto al polo celeste. Il cannocchiale poi è collocato al di là del circolo K, non altrimenti che nei grandi altazimut, i quali possono far senza dell'obbiettivo a prisma.

Come origine o zero del circolo parallelo all'equatore non si può scegliere la direzione all'equinozio di primavera, giacchè questo punto partecipa al moto diurno apparente della sfera celeste, mentre l'istrumento ed il circolo devono avere una situazione fissa. Perciò anche qui si sceglie come direzione d'origine della numerazione il meridiano. Si chiama *angolo orario* l'angolo del quale in un dato istante una stella è lontana dal meridiano, contato sull'equatore; esso rimane sempre lo stesso per tutte le stelle, se dopo la loro culminazione è trascorso il medesimo tempo. Quindi quest'angolo si misura immediatamente secondo il tempo, cioè si dice che ad esempio una stella ha un angolo orario di 55 minuti, quando è trascorso questo tempo dopo il suo passaggio al meridiano.

Qui è il caso di accennare che in ciò viene adoperato il tempo siderale, il cui giorno è il lasso di tempo che intercede fra due passaggi successivi dell'equinozio di primavera. Accanto ad ogni istrumento astronomico si trova un orologio a tempo siderale, i cui indici dànno ad ogni istante l'angolo orario dell'equinozio di primavera. Ora, per ottenere l'angolo orario di una stella basta sottrarre dal tempo siderale corrispondente all'istante che si considera la longitudine equatoriale (ascensione retta, indicata in astronomia con α) per ottenere il suo angolo orario, quindi, quando si voglia avere un astro nel campo di visione del cannocchiale bisogna fissare il cannocchiale su quell'angolo orario, dopo aver disposto il circolo di declinazione in modo da segnare la distanza polare ($p = 90 - \delta$; ove la lettera δ sta, come si usa sempre, a designare la declinazione); α viene, come già si disse, contata verso Est, cioè nel senso opposto a quello del movimento diurno, ed anche data sempre non in gradi, ma in ore, minuti, ecc. Se noi indichiamo con Θ il tempo siderale corrispondente ad un determinato istante, con t l'angolo orario, si avrà in generale

$$t = \Theta - \alpha.$$

A fine di evitare anche questa semplice sottrazione, che è pur sempre necessaria per fissare in posizione il " circolo orario „, in questi ultimi tempi si è circondato detto circolo con un altro, che è provveduto di un movimento di orologieria che cammina secondo il tempo siderale, così che il suo punto zero o di origine ne mostra sempre l'equinozio di primavera. Nel collocamento di questi istrumenti, è possibile utilizzare anche la longitudine equatoriale od ascensione retta.

Finchè non fu possibile di pensare a costrurre questi equatoriali in dimensioni notevolmente maggiori dei circoli meridiani o degli altazimut, si cercò di raggiungere con quelli l'esattezza data da questi; cioè di istituire a mezzo dei due circoli delle misure assolute. Ma dopo che poco per volta questi strumenti vennero assumendo proporzioni gigantesche, così che solo le lenti adoperate pesano parecchi miriagrammi, mentre i tubi, all'estremo superiore dei quali gli obbiettivi

si debbono muovere circolarmente sono divenuti alti come case, si constatò l'impossibilità di costruirli in modo così stabile, che in causa della flessibilità della materia non si introducessero nelle osservazioni e nelle varie posizioni dell'istrumento degli errori non sottoponibili a calcolo e di grandezza relativamente grande. Oggi il massimo fra questi istrumenti è quello di Yerkes, eretto nella lontana Chicago (vedi figura a pag. 33), che in questi ultimi mesi ha superato in rango di grandezza il telescopio Lick. Quando è rivolto allo zenit, l'obbiettivo del telescopio Yerkes sta a 22 metri d'altezza sopra il pavimento della sala d'osservazione, il punto di rotazione a 13 metri ed $^1/_4$. Il tubo d'acciaio è lungo 19 metri ed ha una sezione di 1,10 di diametro. Da solo pesa 5450 kilogr., tutto l'istrumento 68.000 kilogr. La lente, che ha un diametro di 101,5 centimetri, consta, come si sa, di due parti: la lente di crown, ha uno spessore al centro di centimetri 7,66, all'orlo di centimetri 2,25; la lente concava di flint misura al centro centim. 3,80, all'orlo centimetri 7. Di fronte a queste dimensioni da lungo tempo si è cessato di eseguire coll'equatoriale delle misure assolute, cioè quelle che si riferiscono ad un punto fisso della superficie terrestre; ma si sta contenti ad istituire con esso delle osservazioni differenziali; vale a dire si determina la differenza di posizione tra un oggetto del quale si ignora la posizione, ed uno del quale essa ci è nota, e che sta vicino al primo: la posizione di quello che si assume come termine di paragone è nota preventivamente, o viene determinata al circolo meridiano. In tali osservazioni differenziali occorre soltanto di curare che lungo la loro durata l'istrumento rimanga assolutamente immobile, così che i suoi errori non possano cambiare mentre si fa l'osservazione. Essi vengono quindi eliminati dalla differenza di posizione che si trova. I congegni dell'istrumento ed i circoli graduati servono quindi soltanto più a trovare un oggetto in cielo, essi divengono cerchi di posizione o di ricerca.

Quasi a bilanciare queste facilitazioni per la costruzione di cosiffatti giganteschi strumenti, nella cui costituzione e stabilità non si bada ora più alle esigenze di una eccessiva precisione, sorsero delle difficoltà provenienti dalla grande lunghezza e peso del cannocchiale. I due circoli devono per necessità essere collocati alle estremità dei due assi: affinchè poi il peso sia uniformemente distribuito, l'asse di declinazione deve portare il cannocchiale nel suo mezzo. In causa di ciò, nei grandi equatoriali i cerchi distano di parecchi metri dall'oculare: nei massimi questa distanza sale fino a 9 metri, e quindi quei cerchi debbono essere disposti sopra una colonna alta almeno d'altrettanto sul pavimento della sala d'osservazione, colonna che deve reggere il grosso peso di un tale istrumento. Ma per poter giungere quei cerchi e leggere su di essi, si dovettero erigere diverse costruzioni; ma ciò si deve evitare, non solo per non affaticare troppo l'osservatore e renderlo indipendente da un secondo collaboratore, ma anche perchè è necessario che durante l'osservazione si possa dall'oculare tener d'occhio a tutte le parti dell'istrumento, ed in ispecial modo leggere i cerchi, ed occorrendo spostare l'istrumento. I congegni che servono a raggiungere tutti questi scopi, hanno poco per volta fatto crescere attorno all'oculare di un grande refrattore una tal quantità di viti, aste, ruote dentate ed oculari sussidiari, che una persona che non sia astronomo, non può più trovare fra essi il vero oculare, al quale deve appoggiare il suo occhio.

Noi rappresentiamo l'estremo ove sta l'oculare del telescopio di 36 pollici dell'Osservatorio Lick nella figura 203: C ed H sono lunghi microscopi che giungono fino alla parte mediana del cannocchiale, e sono forniti di una serie di prismi in guisa che a mezzo di essi si può in qualunque posizione leggere sul circolo di declinazione e su quello orario. I congegni DE, simili a ruote da timone, servono a fissare l'istrumento nelle due direzioni. Se si gira la ruota quanto lo consente la sua costruzione, allora l'istrumento, che prima si poteva liberamente muovere a mano, rimane avvinto alla colonna. Però le altre ruote di simil forma che si trovano all'estremo oculare permettono ancora di imprimergli dei piccoli movimenti. Per comodità dell'osservatore tali ruote si disposero nei luoghi più vari possibili, affinchè egli potesse, pur tenendo l'occhio all'oculare, manovrarle con sicurezza. A, B, C sono cannocchiali cercatori, paralleli al grande, e mobili soltanto assieme ad esso, ed invariabilmente ad esso connessi. Essi hanno un ingrandimento minore, e quindi un maggior campo di visione del colosso stesso. Con essi si possono facilmente trovare degli oggetti, la posizione dei quali non sia nota del tutto esattamente, od anche stelle conosciute, anche con una direzione dell'istrumento non rigorosamente esatta, quando essi non siano troppo deboli di luce da richiedere la forza del grande cannocchiale. Se si fa venire l'oggetto trovato nel mezzo del campo di visione del cercatore, esso starà anche in mezzo di quello del cannocchiale maggiore. Nei cannocchiali di dimensioni medie si sta contenti ad un solo cercatore: i tre dell'Osservatorio Lick sono conformati per differenti esigenze. Il più grande B è già di per sè un cannocchiale assai ragguardevole; esso ha un obiettivo di 6 pollici di apertura.

Si richiede molta ingegnosità anche per disporre gli apparecchi di illuminazione che durante la notte devono permettere di leggere le varie parti dell'istrumento, mentre al tempo stesso l'ambiente nel quale si osserva deve rimanere avvolto nella massima oscurità per conservare all'occhio la necessaria sensibilità, inoltre le lampade devono essere così situate che le parti che servono alla misura non subiscano dilatazione per il calore. Un complicato sistema di prismi serve a questo scopo e proietta nelle varie direzioni dei fasci di luce, ed anche nel cannocchiale in ogni verso. In particolare modo poi anche i fili del micrometro, il quale come nel circolo meridiano si trova dietro all'oculare, devono venire illuminati senza che però la luce che serve a ciò diffonda la più debole luminosità di sorta nel campo di visione, giacchè il refrattore deve appunto servire a scorgere i più delicati albori luminosi ed a misurarne la posizione. A tal fine l'illuminazione dei fili deve poter venir regolata con rapidità e sicurezza dall'osservatore, giacchè in certi casi anche i fili devono divenire appena appena visibili. Altre osservazioni invece consentono anche una qualche luce diffusa nel telescopio, e poichè le osservazioni divengono più sicure quando si vedono i fili oscuri sul fondo illuminato, così tutta l'illuminazione può venire invertita a mezzo di un manubrio per poter passare da fili chiari sovra campo oscuro a fili oscuri sovra campo chiaro.

Naturalmente bisogna dedicare ogni attenzione al micrometro, col quale soltanto si può eseguire la vera misura. In complesso è costituito come il micrometro del circolo meridiano, solamente nel rifrattore occorre che l'intiero sistema di fili fissi e mobili possa ruotare attorno all'asse ottico. Questa rotazione di tutto

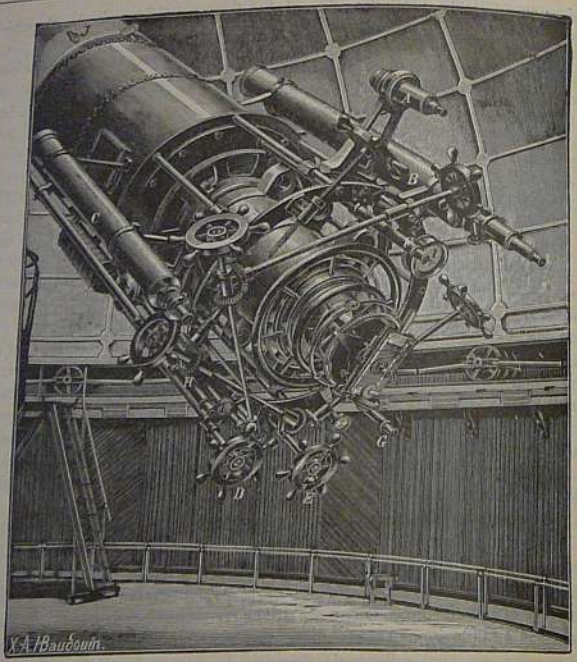


Fig. 203. — Estremo oculare del refrattore di 36 pollici dell'Osservatorio Lick.

il micrometro si legge sopra il circolo di posizione, che si trova pure dietro al telaio scorrevole del micrometro. La testa della vite micrometrica è molto grande e foggiata, come si suol dire, a tamburo: essa porta una divisione minuta e permette ancora di leggere un centesimo di un giro di vite. Un altro disco ad essa connesso mostra il numero delle rotazioni intiere.

Con un micrometro cosiffatto si possono istituire osservazioni di due generi. Seguendo un procedimento si determina la differenza di longitudine e latitudine equatoriali (ascensione retta e declinazione) fra un oggetto ignoto ed uno noto, che è detto stella di paragone. In altri casi col secondo metodo si misura la distanza minima fra i due astri e la direzione della linea che li congiunge rispetto ad una data direzione costante.

La necessità di mantenere gli oggetti che si osservano, durante la misura, nel campo di visione, porta con sè una nuova complicazione nella costruzione dell'equatoriale: esso deve venir fornito di un preciso movimento d'orologieria, ossia

di un meccanismo di propulsione, che faccia girare il colosso attorno al suo asse, una volta in 24 ore; così l'istrumento che è disposto equatorialmente, terrà dietro a qualsiasi stella, sulla quale sia diretto, nel suo moto diurno, anche se essa si trovi al polo od all'equatore. La costruzione di un tale meccanismo solleva le maggiori difficoltà; tutti i nostri orologi agiscono a salti e anche con altri mezzi è difficile raggiungere un andamento regolare ed esatto. Ma il movimento d'orologieria del refrattore deve procedere così regolarmente, che con un ingrandimento di parecchie centinaia di volte del movimento diurno, la stella rimanga fissa dietro al punto che è individuato dall'intersezione di due fili di ragno. Se anche il cannocchiale è equilibrato in guisa che malgrado il suo peso che ammonta a diecine di tonnellate, possa venir facilmente governato dall'osservatore, tuttavia rimane a superare un attrito notevole ed alquanto variabile colla posizione del cannocchiale, malgrado il che, il movimento d'orologieria deve pur sempre agire regolarmente. Per lo più si cerca di risolvere il problema coll'introdurre nel meccanismo un pendolo o regolatore a forza centrifuga; nel refrattore della Società astronomica Urania di Berlino, a somiglianza dell'istrumento di Ginevra, si usa l'elettricità come forza motrice ed anche regolatrice. Con tal mezzo si potè fare il meccanismo piccolo molto più dell'usato.

Il movimento di orologieria agisce sopra un settore circolare od un circolo intiero provvisto di una dentatura minuta che va unito al circolo orario: dall'oculare si può fissare quel settore rigidamente all'asse orario, così che il cannocchiale tenga dietro al movimento diurno, oppure lo si può lasciar libero, quando si voglia determinare la differenza di ascensione retta a mezzo delle descritte osservazioni di passaggio. La scelta della specie di osservazione da applicare per ogni caso, dipende in prima linea dalla distanza angolare degli oggetti da misurare.

Il metodo della misura delle differenze di longitudine e latitudine equatoriali (ascensione retta e declinazione), acconsente in date circostanze una distanza fra l'oggetto da sottoporsi a misura e la stella di paragone così grande che non occorre che entrambi siano contemporaneamente nel campo del cannocchiale. Possono intercedere 5 od anche 10 minuti fra i passaggi dell'uno e dell'altro oggetto; la differenza di latitudine equatoriale (declinazione) non deve essere maggiore del campo di visione. Nella determinazione della posizione delle comete e dei piccoli pianeti, si è spesso costretti a cercare a distanze così grandi una stella di paragone, la cui posizione fu determinata con sufficiente precisione a mezzo di osservazioni meridiane, e che quindi è registrata nei cataloghi stellari. Naturalmente l'esattezza dell'osservazione differenziale dipende dalla precisione colla quale è noto il sito della stella di paragone. Di rado quegli oggetti si possono misurare direttamente al cerchio meridiano, perchè troppo poco luminosi. Coi corpi effimeri, quali quelli delle comete quand'anche si potessero guardare col circolo meridiano, l'osservazione al meridiano non si farebbe volentieri a cagione del tempo che può variare e rendere necessaria l'osservazione prima del passaggio al meridiano; spesso poi anche il passaggio al meridiano avviene durante il giorno chiaro. Il metodo della misura dell'angolo di posizione e della distanza si applica per contro vantaggiosamente ad oggetti che siano fra loro vicini, come ad esempio le stelle doppie, nelle quali si ricerca sopratutto la diversità di posizione di una stella rispetto all'altra, e di regola del compagno più debole rispetto a quello più

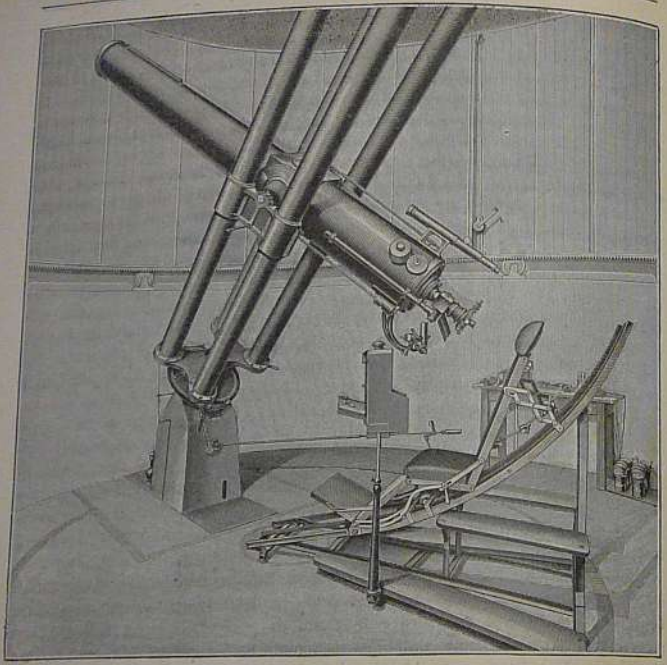


Fig. 204. — Refrattore di 10 pollici dell'Osservatorio di Ginevra (montatura inglese).

lucido. Per quest'ultimo scopo l'ultimo metodo offre un'esattezza molto maggiore che non quello delle osservazioni di passaggio.

Gli equatoriali finora descritti sono costrutti, o come si suol dire *montati alla tedesca*, cioè sostenuti nel loro mezzo da una colonna verticale, sulla quale riposa tutto il loro peso. Questa colonna, almeno per medie dimensioni dell'istrumento, diviene incomoda per osservazioni allo zenit, giacchè allora il cannocchiale deve essere portato molto vicino alla colonna e diretto parallelamente ad essa. Ad evitare questo ed altri inconvenienti fu escogitata la così detta montatura all'inglese quale è quella del refrattore di 10 pollici dell'osservatorio di Ginevra (fig. 204). Esso riposa sopra due pilastri, uno alto a Nord ed uno basso a Sud. La direzione fra i sostegni degli assi di questi pilastri è esattamente verso il polo celeste. Fra essi ruota l'asse polare dell'istrumento che in questo caso deve essere più lungo dell'istrumento medesimo. Esso è costituito da quattro colonne di ferro che portano nello spazio da loro compreso e nel loro mezzo l'asse di declinazione,

al quale poi finalmente va annesso il cannocchiale. Con istrumenti siffattamente costrutti si può osservare molto facilmente lo zenit, per contro non lo è così il polo, ed anche nelle vicinanze del polo l'osservatore sarà assai imbarazzato dal circolo orario che sta sul pilastro Sud.

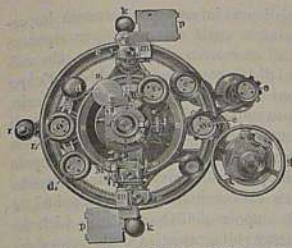
Ad entrambi i modi di disposizione è comune la proprietà che l'oculare può prendere una posizione qualsiasi sulla superficie di un emisfero, il cui diametro è uguale alla lunghezza dell'istrumento. Quindi nei nostri moderni strumenti giganteschi l'occhio dell'osservatore, secondo che guarda allo zenit od all'orizzonte deve superare una differenza di elevazione persino di 9 metri. A tal fine si debbono costruire poltrone d'osservazione che finiscono per divenire delle scale di grandi dimensioni, che possano scorrere attorno all'istrumento sopra rotaie. Nella nostra tavola rappresentante il refrattore di Pulkowa, pagina 462, sono visibili due di tali poltrone d'osservazione che possono girare a due differenti altezze attorno all'istrumento. Ad evitare questi pesanti ordigni, nell'Osservatorio Lick ed in quello di Urania a Berlino, si sono applicati dei congegni idraulici di sollevamento, che portano in alto tutto il pavimento della sala d'osservazione con tutti gli utensili che vi stanno sopra, il che è comodissimo per l'osservazione. Ma i meccanismi richiesti da una tal poltrona mobile sono sopratutto pei maggiori strumenti molto complicati e cari. D'altronde gli equatoriali sono strumenti estremamente costosi. Il refrattore di dodici pollici dell'Osservatorio Urania è, ad es., costato 50.000 marchi, ed il refrattore di Lick da due a tre millioni di marchi. Si è quindi molte volte pensato ad altri modi di costruzione, che malgrado la lunghezza del cannocchiale prescrivono all'oculare un movimento minore. Nel refrattore di Ginevra ciò si ottenne dando al tubo del cannocchiale una forma di cannone, che verso l'oculare diventa molto grande e pesante. A questo modo l'asse di declinazione potè essere disposto, pur conservando l'equilibrio, ad un terzo di tutta la lunghezza del cannocchiale, così che l'oculare descrive un cerchio che è la metà di quello descritto dall'obbiettivo.

In modo ideale la questione della comodità dell'osservatore è risolta dall'" Equatorial coudé „ costrutto per la prima volta all'Osservatorio di Parigi. In questo l'oculare rimane generalmente fisso; esso sporge col suo micrometro e colle rimanenti parti necessarie ai movimenti dell'istrumento in una camera, e l'osservatore sta seduto sopra una sedia ordinaria davanti all'oculare, come davanti ad un tavolo. L'asse, al cui estremo superiore sta l'oculare, è parallelo alla direzione fra i due poli celesti, cioè al così detto asse del mondo. Quest'asse dell'istrumento è collocato, come avviene per gli ordinarii equatoriali di montatura inglese, sopra un pilastro alto ed uno basso; esso forma così, come nell'altazimut di Ginevra, una parte del cannocchiale ed è soltanto girabile intorno a se stesso; l'altra parte del cannocchiale si trova perpendicolare a quest'asse fuori dell'ambiente d'osservazione. Ove le due parti vengono a riunirsi è fissato solidamente uno specchio metallico inclinato, il quale serve ad indirizzare nella seconda parte del cannocchiale che si trova sull'asse del mondo i raggi che provengono dall'obbiettivo di esso, ed a condurli all'oculare. Lo specchio è inclinato stabilmente sotto un angolo di 45°, rispetto alla direzione delle due parti del cannocchiale. Quindi mentre l'oculare è diretto al polo, l'obbiettivo è diretto all'equatore, che nella rotazione del cannocchiale percorre in tutta la sua estensione. Quindi senz'altra

disposizione, non si potrebbe osservare altra regione che quella dell'equatore. Ma davanti all'obbiettivo è collocato, il più lontano possibile, e protetto da un cubo metallico, un secondo specchio piano, che si può inclinare secondo una direzione perpendicolare all'equatore, e così può mandare attraverso all'obbiettivo raggi provenienti da stelle di qualsiasi declinazione. Così l'istrumento domina tutto, o la massima parte del Cielo. All'Osservatorio di Parigi si costrusse dapprima un cosiffatto strumento di piccole dimensioni, e poi uno maggiore; l'Osservatorio di Vienna ne possiede anche un modello piccolo.

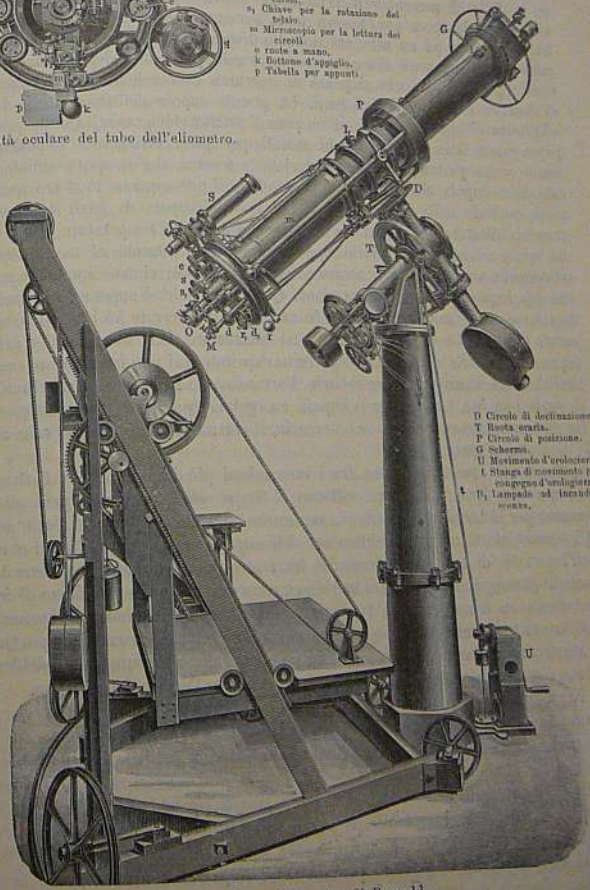
L'eliometro, che è un istrumento che permette la misura più delicata di piccoli angoli fra due oggetti visibili contemporaneamente nel campo del cannocchiale, è destinato ad osservazioni che riposano sopra un principio affatto differente da quelli che informano gl'istrumenti fin qui descritti (fig. 205). La sua costruzione è basata sul fatto che ogni parte dell'obbiettivo proietta di per sè un'immagine completa di un oggetto. Se quindi si sega l'obbiettivo in due parti, e si spostano queste l'una rispetto all'altra, si producono due immagini dell'oggetto che distano fra loro di tanto quanto si sono spostate le metà dell'obbiettivo. La misura pertanto di questo spostamento dà senz'altro una misura della distanza angolare dei due punti di un oggetto che si portano a coprire le due immagini di esso. Se ad esempio si vuol determinare il diametro di un disco planetario, si spostano le due metà dell'obbiettivo finchè le due immagini separate del disco planetario si tocchino precisamente ancora coi loro lembi, e si determina lo spostamento delle due metà dell'obbiettivo, od a mezzo delle rotazioni di una vite micrometrica, come nell'equatoriale, ovvero lo si legge direttamente sopra una stanghetta coll'aiuto di un microscopio M. A tale scopo, sui telai sui quali si spostano le metà dell'obbiettivo, è tracciata sull'argento una fine graduazione. Per poter sempre portare a coprirsi due punti comunque disposti, si deve poter girare anche tutto l'obbiettivo attorno all'asse ottico del cannocchiale, il che avviene dall'oculare. Con ciò si può determinare contemporaneamente l'angolo di posizione come col micrometro dell'equatoriale comune. Pel rimanente i congegni di movimento sono uguali nelle due specie di strumenti. Nell' eliometro mancano soltanto i fili micrometrici e le lampade per la loro illuminazione. Per quanto questi fili vengano scelti sottili, pur tuttavia essi introducono sempre nella misura di distanze angolari molto piccole, una tal quale incertezza, che nell'eliometro viene evitata. Perciò la luce dell'oggetto da misurarsi viene ridotta alla metà, poichè si scinde il suo quantitativo in due parti. Gli eliometri costrutti fino al giorno d'oggi sono di dimensioni modeste rispetto ai giganteschi equatoriali moderni, e tali rimarranno anche in seguito, perchè difficilmente ci si deciderà a spaccare in due un grande obbiettivo ben riuscito. Quindi, stante la potenza ottica dell'eliometro relativamente debole certi problemi dell'astronomia di misura non potranno studiarsi con esso, mentre un'intiera serie di altre misure, sopratutto sul Sole (dal quale esso ripete il suo nome) riescono con esso in modo inappuntabile. Così in occasione dell'ultimo passaggio di Venere davanti al disco del Sole l'eliometro ha reso segnalati servizi (*a*).

(*a*) [Per quanto ci consta, in Italia a tutt'oggi (Marzo 1899), nessun osservatorio possiede un eliometro. (O. Z. B.)].



M Microscopio per la lettura della scala.
O Oculare.
S Cercatore.
d_1 Chiave per la declinazione.
r_1 Chiave per l'ascensione retta.
s Chiave per il movimento del cercoli.
s_1 Chiave per la rotazione del telaio.
m Microscopio per la lettura dei cercoli.
c cuoio a mano.
k Bottone d'appiglio.
p Tabella per appunti.

Estremità oculare del tubo dell'eliometro.



D Circolo di declinazione.
T Retta oraria.
P Circolo di posizione.
G Schermo.
U Movimento d'orologieria.
t Stanga di movimento pel congegno d'orologieria.
l_1 Lampade ad incandescenza.

Fig. 205. — Eliometro di Repsold.

Colla montatura ordinaria degli equatoriali ora in uso una necessità imperteribile è la cupola girevole, che deve innalzarsi sugli strumenti, per riparare dai danni delle intemperie i lavori delicati di meccanica di precisione che esistono in ogni parte di quelli. Le disposizioni di tali cupole non avrebbero d'uopo di più estesa trattazione che le altre disposizioni di costruzione di un osservatorio, se le difficoltà presentate dalla elevazione di una cupola per i maggiori strumenti e con esse la spesa non fossero tanto aumentate da essere divenute di per sè un freno sensibile ad un ulteriore aumento di dimensioni dei cannocchiali. Le cupole per i grandi strumenti divengono poco per volta più costose degl'istrumenti medesimi e perciò stesso non si pensò di costrurre cannocchiali ancora maggiori, e di formare e tagliare grandi lenti. La grande cupola dell'Osservatorio Lick ha un'altezza di circa 25 metri ed un peso di 90.262 chilogrammi. Questo peso deve poter essere fatto girare in pochi minuti, per poter rivolgere a volontà rapidamente verso qualunque regione del cielo la fessura, che si apre e chiude, praticata nella cupola. Se anche con una macchina si può superare lo sforzo necessario a ciò, tuttavia nella costruzione di tali enormi cupole di ferro si presenta la grande difficoltà della loro varia dilatazione a differenti temperature, il necessario, ma spesso mancante intervallo oppone facilmente ostacolo al meccanismo del movimento, così che spesso occasionalmente la cupola rimane immobile e rende con ciò impossibile ogni osservazione. Questa difficoltà è superata nel modo più ingegnoso nel grande refrattore di Nizza, che va annoverato fra i giganteschi strumenti d'oggidì. La cupola fu elevata dal costruttore della torre Eiffel, e galleggia sopra una miscela di acqua e di glicerina: quindi la si può far muovere con tutta facilità senza alcun mezzo sussidiario. Fortunamente Nizza gode di un clima, sotto il quale non è a temersi per la cupola una gelata; nei nostri climi bisognerebbe far galleggiare una tal cupola sul mercurio, il che aumenterebbe a sua volta ancora e di molto la spesa.

Come già avvertimmo, uno fra i meccanismi più importanti per l'astronomo è l'orologio. Esso non serve soltanto a fissare gli istanti, nei quali gli astri passano per determinate posizioni, ma anche alla misura diretta degli angoli. All'equatoriale si misura la differenza dell'angolo orario di due astri, a mezzo dell'intervallo di tempo che trascorre fra i loro passaggi dietro il sistema di fili; anche il passaggio di un astro al meridiano osservato al circolo meridiano dà immediatamente in tempo siderale la distanza angolare dall'equinozio di primavera, cioè la sua longitudinale equatoriale od ascensione retta espressa in tempo. Quindi la stessa minuta cura che l'osservatore adopera alla determinazione dell'errore del suo cannocchiale, deve essere impiegata anche per l'errore dell'orologio.

Negli orologi di precisione che soltanto a noi occorre considerare, serve esclusivamente come principio regolatore dell'andamento, un pendolo oscillante, cioè una stanga che è appesa e caricata di un peso ad un estremo, e libera il più che si può all'altro. Se si allontana questa stanga dalla sua posizione di riposo e la si lascia oscillare liberamente sotto l'influenza della gravità, queste oscillazioni per ogni pendolo di lunghezza invariabile, si fanno sotto tutte le circostanze in intervalli di tempo perfettamente uguali, quando, ben inteso, rimanga costante la forza di gravità che mantiene il pendolo in movimento. Questa è una necessità teorica, che non dipende da qualsiasi ricerca relativa alla misura del tempo preventiva-

mente istituita (*a*). Ora il fisico ci può dimostrare, che in realtà la forza di gravità in un determinato luogo della superficie terrestre è la costante più invariabile che noi conosciamo in tutto il dominio delle cose naturali (*b*). Il pendolo è quindi il vero istrumento dell'astronomo per la misura del tempo; e noi vedremo quante meravigliose scoperte e conquiste nel suo campo di ricerca egli ripeta dall'osservazione incessante e faticosa delle oscillazioni di quello. Tutte le rimanenti parti del pendolo normale, sono soltanto accessori, il cui complesso ha per iscopo di contare le oscillazioni compiute. Per evitare, per quanto è possibile, le resistenze di attrito e le sorgenti di errore di altra natura, l'orologio astronomico ha la costruzione più semplice possibile; poichè si dànno ingegnosi congegni che lavorano affatto senza ruote. In realtà la noverazione delle oscillazioni si fa facilmente senza impiegare delle ruote. Il pendolo viene appeso ad un pezzo di molla di orologio, la cui elasticità rende possibile le oscillazioni; se alla parte superiore dell'asta del pendolo si applica un piccolo pezzo trasversale che termini a punta verticale, e se si dispongono accanto al pendolo, ma indipendenti da esso, dei recipienti con del mercurio così fattamente che ad ogni oscillazione del pendolo quella punta venga a tuffarsi nel mercurio, si potranno così produrre dei contatti elettrici, che agiscono direttamente sul cronografo sopra descritto, ed in esso producono i segnali dei minuti secondi sulla carta che si va man mano svolgendo.

Il nostro problema con ciò sarebbe risolto, se non sopravvenisse la circostanza, che la forza viva che il pendolo perde inevitabilmente a cagione della resistenza dell'aria e delle resistenze del meccanismo stesso, deve venir rifornita, al che, come si sa, nei pendoli ordinari serve un peso. La corda che sostiene questo peso è avvolta attorno ad un tamburo che essa fa girare assieme alla così detta ruota di rincontro. Questo è fornito di lunghi denti, nei quali s'incastra un doppio nasello, in guisa che ad ogni oscillazione lascia trascorrere sempre un dente solo, quindi l'orologio novera le oscillazioni. Ma contemporaneamente agisce la ruota, di rincontro, ed a mezzo del peso che essa sostiene, esercita una pressione opposta sul nasello del pendolo e gli dà con ciò ogni volta un piccolo impulso, che basta a rimettere a posto la forza perduta. Però con ciò si producono sempre, a cagione della polvere e dell'addensarsi dell'olio necessario alla lubrificazione, degli attriti, che producono in complesso delle irregolarità.

Perciò si sono costrutti degli orologi, nei quali questo impulso vien dato senza alcun contatto materiale a mezzo di azioni elettromagnetiche. In questi orologi l'estremo oscillante del pendolo è in ferro, e ad esso è lateralmente opposta la elettrocalamita, la quale però è senza corrente, cioè non esercita attrazione. A

(*a*) [Questo principio, scoperto da Galileo, e detto dell'isocronismo delle oscillazioni del pendolo, è rigorosamente parlando, vero soltanto, quando le oscillazioni del pendolo siano molto piccole. Ma tali si procura sempre siano le oscillazioni dei pendoli che servono da regolatori agli orologi di precisione che adoperansi in astronomia. (O. Z. B.)].

(*b*) [La costanza della gravità non è assoluta e lo si vedrà meglio nel capitolo che ne tratta. Certo sembrano più costanti le lunghezze delle onde luminose, e la velocità della luce nel vuoto, che sembrano identiche nello spazio e nel tempo, almeno da che si sono determinate con precisione. Lo stesso non può dirsi, assolutamente parlando, della gravità; ma per intendere ciò è bene conoscere più da vicino questa forza, il che avverrà nel seguente capitolo. (O. Z. B.)].

metà circa del pendolo sta un piccolo e sottile coltellino, che si può muovere liberamente verso un lato. Ad ogni battito del pendolo esso striscia sopra un pezzettino di molla metallica, che è disposta indipendentemente dal primo ed ha un intaglio, nel quale il coltellino s'introduce soltanto quando le oscillazioni hanno raggiunto una certa ampiezza; allora la piccola molla viene spinta alquanto verso il basso, e genera un contatto, che pone per un istante in attività l'elettrocalamita; il pendolo riceve da questa il necessario impulso, ed il coltellino corre di nuovo per un certo tempo sulla molla senza agire su di essa. A mezzo di questo ingegnoso congegno immaginato da Hipp in Neuchâtel, si ottiene un rifornimento automatico della forza perduta dal pendolo, il quale si verifica realmente soltanto quando occorre. Questo orologio di Hipp non ha alcuna ruota, esso non richiede in nessun sito alcun lubrificante, e non ha d'uopo d'essere mai ricaricato. Si pensi che ogni incontro di un dente della ruota dentata col pendolo può essere cagione di una resistenza insolita, e che in un giorno avvengano 86.400 di tali contatti, mentre nel congegno descritto il pendolo può oscillare durante dei minuti, senza che avvenga l'eccitazione meccanica ad un nuovo impulso, e si sapranno apprezzare i vantaggi di esso.

Ma l'oscillare del pendolo incontra un ostacolo permanente nella resistenza dell'aria circostante. Essa non ha alcuna influenza immediata sull'esattezza della misura del tempo, finchè essa agisce in modo perfettamente regolare, giacchè l'astronomo non pretende che il suo orologio gli dia sempre il tempo esatto: egli non richiede al suo orologio che una completa regolarità d'andamento. Per conservare ciò, egli tocca l'orologio il meno che può; non lo mette mai sull'ora; ma registra sul suo quaderno il suo stato quotidiano e ne tien conto nelle sue osservazioni e nei suoi calcoli. Lo stato dell'orologio a mezzogiorno, rispetto al tempo esatto, registrato quotidianamente sul quaderno dell'orologio, deve variare di quantità uguali in uguali intervalli di tempo, vale a dire l'andamento diurno deve essere costante. Per lo scopo della pratica astronomica la grandezza dell'andamento diurno è praticamente indifferente, e solo per ragioni di comodità si cerca di mantenerlo piccolo. I divari dei successivi *andamenti dell'orologio* fra loro, ovvero in linguaggio matematico, delle differenze seconde dello stato dell'orologio, che in pratica si chiama la variazione diurna dell'orologio, debbono per contro rimanere piccoli quanto è possibile. In un buon orologio astronomico la variazione non deve superare $0^s,05$. I migliori orologi conosciuti diedero variazioni soltanto di $0^s,02$ o $0^s,03$.

Però, quando si consideri l'influenza variabile dell'atmosfera circostante sull'andamento dell'orologio, rimangono ancora delle minime irregolarità. Un'aria che sia costantemente di densità uniforme agirebbe sempre nel medesimo senso sull'andamento dell'orologio. Un orologio cammina più lentamente in uno spazio pieno d'aria di uno che si faccia oscillare in uno spazio vuoto. Ma la densità dell'aria varia, ed il barometro lo prova ogni giorno, e con essa varia l'andamento dell'orologio. Benchè si verifichi che anche questa influenza è debole, tuttavia essa deve venir determinata per lo più con una lunga serie di osservazioni e tenuta nel debito conto.

Le fluttuazioni della temperatura dell'aria circostante agiscono sull'andamento dell'orologio in modo molto più ragguardevole delle fluttuazioni della pressione

dell'aria. La durata dell'oscillazione di un pendolo dipende soltanto dalla sua lunghezza; ma questa cambia a cagione della diversa dilatazione delle sue parti metalliche, prodotta dalle variazioni della temperatura. Si deve quindi compensare il pendolo contro di esse, costruendolo con metalli differenti di guisa che la lunghezza totale di un tal pendolo vari il meno possibile entro i limiti delle variazioni di temperatura che si verificano. Ma neppure qui è possibile giungere ad una compensazione completa, ma è d'uopo determinare coll'osservazione il residuo influsso della temperatura ed introdurlo nel calcolo. Vi sono anche dei pendoli, ai quali in modo molto ingegnoso fu annesso un barometro, che partecipa alle loro oscillazioni, e che colle fluttuazioni della sua colonna di mercurio al variare della pressione atmosferica, sposta il centro di gravità del pendolo in guisa che in questo modo si ottiene una compensazione di tutte quelle variazioni. Ma il miglior modo di porsi al riparo da esse e da altre influenze accidentali è quello di chiudere l'orologio ermeticamente in una vetrina. Ciò naturalmente è possibile soltanto per quegli orologi che non hanno bisogno di essere ricaricati, e che quindi ricevono il necessario impulso da un filo elettrico, che è saldato nella parete di vetro; od anche in quelli nei quali la penetrazione dell'aria durante l'operazione del caricamento può essere impedita da chiusure ermetiche all'aria. All'Osservatorio di Berlino esiste un orologio di tal fatta. Un orologio normale deve essere protetto anche contro le variazioni di temperatura talvolta repentine dei nostri paesi; perciò si usa collocarli in sotterranei, mentre vicino ai vari istrumenti dell'osservatorio si trovano dei quadranti, le cui lancette vengono poste in movimento dai contatti elettrici del pendolo normale; talvolta anche si adoperano orologi un po' meno esatti, che poi, prima e dopo ogni osservazione, importante vengono paragonati col pendolo normale.

I misuratori del tempo, che non sono regolati dal pendolo, ma come negli orologi da tasca, da un così detto *scappamento*, non sono quasi mai adoperati nei servizi degli osservatori, giacchè gli orologi a pendolo sono incontestabilmente ad essi superiori per la sicurezza e la continuità dell'andamento. Ma anche fuori dell'osservatorio si hanno da risolvere dei problemi astronomici, nei quali non si può adoperare un orologio a pendolo, poichè questo richiede un collocamento scevro affatto da scosse, per il che gli orologi normali degli osservatori sono sempre situati sopra un pilastro speciale con fondazioni indipendenti da quelle del fabbricato. Per gli scopi della navigazione in particolare, gli orologi a pendolo non sono applicabili; per essi valgono quelli che sono chiamati *cronometri nautici od a scatola*, i quali essenzialmente sono costrutti come i nostri orologi da tasca. Come organo regolatore serve in essi una molla a spirale. Coll'avvolgersi e distendersi di essa, gira una piccola ruota, il bilanciere, in un verso e nell'altro, e con ciò, a somiglianza di quanto avviene nei pendoli, fa che la ruota dentata progredisca ogni volta di un dente soltanto. Questi orologi sono, come quelli a regolatore pendolare, influenzati dalle fluttuazioni della temperatura e della pressione atmosferica. La temperatura dilata in varia misura il bilanciere, ed oppone quindi al lavoro della molla a spirale delle resistenze differenti; il bilanciere deve perciò venir costrutto, a scopo di compensazione, giovandosi dell'azione opposta delle dilatabilità diverse di parecchi metalli.

Se anche così fatti orologi raggiungono una precisione ragguardevole, tuttavia sono ancora più esposti ad influenze perturbatrici che non gli orologi a pendolo saldamente stabiliti; per adempiere il loro còmpito devono fare lunghi viaggi, nei quali sono esposti a scosse inevitabili. Essi sono disposti in una così detta sospensione cardanica, così che il movimento d'orologieria rimane sempre in posizione orizzontale, in qualunque modo possa dondolare la scatola del cronometro;

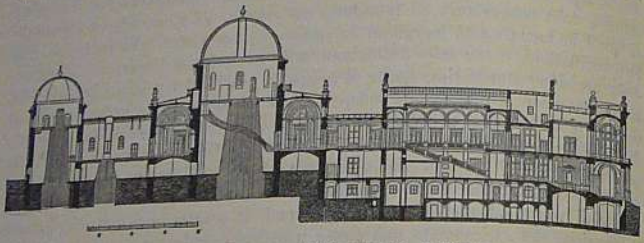


Fig. 206. — Spaccato dell'Osservatorio di Vienna.

però non si potrà egualmente bene proteggere l'orologio contro le piccole scosse, quali quelle a cui è esposto costantemente un bastimento a vapore a cagione dell'elica, nè ripararlo dall'umidità, nè dagl'incalcolabili effetti delle temperature estreme. Quindi se anche un cronometro nautico, mostra un andamento regolare durante le prove alle quali deve sottostare nell'osservatorio, esso può tuttavia fare dei salti notevoli, precisamente in un tempo fortunoso, nel quale in alto mare non si deve fare a fidanza che sulle sue indicazioni soltanto. Naturalmente esso deve essere stato preventivamente provato nell'osservatorio a tutte le temperature dell'aria che si possano presentare; all'Osservatorio di Amburgo si è fatto in questo senso un notevole passo avanti, e fu preparato un vasto macchinario, un apparato oscillante, sul quale il cronometro durante il tempo del saggio viene assoggettato a movimenti simili a quelli che subirà in alto mare.

Quanto precede insegna in gran parte in qual modo gli orologi astronomici vengono adoperati nella misura. Per le osservazioni all'equatoriale si richiedono soltanto differenze di tempo, che dànno immediatamente la differenza di ascensione retta; quindi si richiede unicamente che l'orologio impiegato abbia un andamento regolare nell'intervallo di tempo fra l'osservazione della stella di paragone e quella dell'oggetto che si misura. Poichè questo intervallo raramente importa più di 10 minuti, così le piccole variazioni dell'andamento diurno dell'orologio scompaiono in questo caso quasi intieramente dal risultato. Inoltre non è per nulla necessario di conoscere lo stato esatto dell'orologio; questo viene impiegato soltanto cogli oggetti mobili, come le comete, per poter indicare in quale istante si sia verificata la posizione trovata dell'oggetto mobile, rispetto ai punti fissi della vôlta celeste, e perciò in quasi tutti i casi un'incertezza di alcuni secondi è affatto senza conseguenze dannose. Quindi per le osservazioni differenziali non occorre adoperare orologi di grande precisione.

Ben diversamente procede la cosa nelle determinazioni assolute al circolo meridiano. In queste si hanno problemi di due sorta da risolvere, e per la loro soluzione è necessario far uso dei migliori prodotti dell'orologieria. Ciò tanto se si vogliono determinare le longitudini equatoriali (ascensioni rette) delle stelle, cioè la loro distanza angolare dall'equinozio di primavera misurata sull'equatore, per il quale scopo l'istante del passaggio di questo punto si può dedurre soltanto dai dati dell'orologio: quanto se si vogliono esaminare i dati dell'orologio, per il che si determina il passaggio al meridiano di stelle, la cui distanza angolare dall'equinozio di primavera è nota con tutta sicurezza. Assolutamente parlando, si può trattare soltanto o l'uno o l'altro dei due problemi: o sono conosciute le posizioni delle stelle, e perciò si ammette che queste non vadano soggette ad alcuna variazione non calcolabile, ed allora, a mezzo dei loro passaggi si può calcolare la correzione dell'orologio. Oppure ci si fida sull'orologio e dai passaggi delle stelle e dalla correzione nota dell'orologio si deducono le posizioni di esse o le loro variazioni. Questo è realmente un dilemma dal quale non si potè uscire, se non nel modo seguente: si scelse un certo numero di stelle dette fondamentali, le quali vennero durante diecine d'anni osservate in vari osservatori, e la loro posizione fu dedotta come media da molte migliaia d'osservazioni istituite coi più diversi istrumenti, orologi, osservatori, ecc., e così è per quanto è possibile scevra di errori. Negli Annuari astronomici sono scritte le posizioni di queste stelle fondamentali, e queste soltanto vengono utilizzate in tutti gli osservatori del mondo in un unico modo, per dedurre, ogni volta che occorre, la correzione dell'orologio normale dai loro passaggi al circolo meridiano. Tali operazioni vengono dette determinazioni del tempo; essenzialmente esse consistono in ciò: prima si determinano gli errori istrumentali del circolo meridiano, e quindi all'istrumento stesso si osserva un corrispondente numero di passaggi di stelle fondamentali. Quindi, dopo esser così venuti a conoscere la correzione dell'orologio, si può dai passaggi di altre stelle dedurre le loro longitudini equatoriali (ascensioni rette), le quali pertanto si riferiscono sempre al sistema di stelle fondamentali, di guisa che rigorosamente parlando, sono sempre soltanto misure relative.

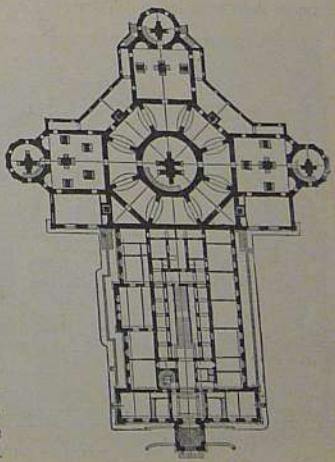


Fig. 207. — Pianta dell'Osservatorio di Vienna.

Rimane ora ancora a dire qualche cosa delle disposizioni generali di un osservatorio, secondo le quali vanno collocati i vari istrumenti, in modo che servano

per il meglio al loro scopo. L'esterno degli osservatori ha durante il corso del presente secolo decimonono subito notevoli variazioni rispetto all'uso antico. Mentre una volta si erigevano costruzioni alte quanto era possibile, si innalzavano torri, sulle quali si collocavano gli strumenti, si cerca oggi di collegarli il più che si può rigidamente col suolo, e quindi di montarli in basso più che è possibile. Gli osservatori avevano per iscopo di sollevare l'osservatore al disopra dei vapori degli strati infimi dell'atmosfera, e sotto questo aspetto essi potevano essere

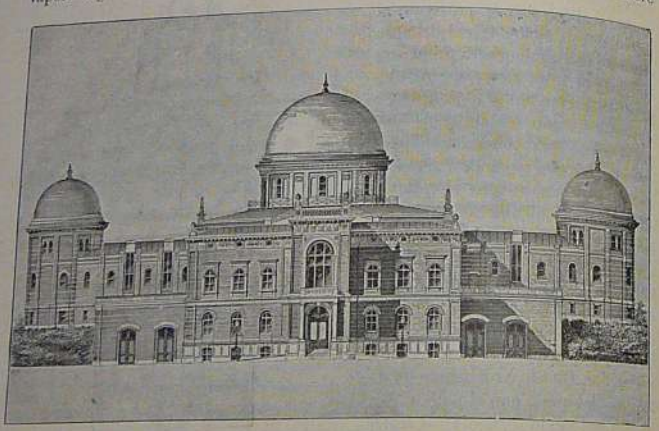


Fig. 208. — Facciata principale dell'Osservatorio di Vienna.

molto acconci al fine; ma da che le esigenze sulla precisione delle misure sono tanto salite, vi si dovette rinunziare, perchè nessun edifizio elevato è abbastanza al riparo dagli scuotimenti. Per sfuggire per quanto è possibile ai vapori immediatamente sovrastanti alla superficie terrestre, bisogna anzi tutto star lontani dalla loro sorgente principale, le città, e costrurre gli osservatori sulle alture. Pel rimanente, si eviterà per quanto è possibile di osservare gli astri nelle vicinanze dell'orizzonte, onde diminuire le influenze di rifrazione degli infimi strati atmosferici, che non si possono sottoporre a calcolo.

Il circolo meridiano poi, il più delicato di tutti gli strumenti astronomici di precisione, viene specialmente collocato sempre al piano terreno. I muri perimetrali dell'ambiente circostante, detta *sala meridiana*, devono essere tagliati da Nord a Sud, ed il tetto sopra questa fessura deve potersi aprire, così da permettere la veduta nel piano meridiano. Naturalmente questa fessura si può chiudere con ribalte, in modo che il costoso istrumento sia al riparo dalle intemperie. Inoltre nel costrurre l'edifizio bisogna curare che la temperatura della sala meridiana possa, per quanto è possibile rapidamente e completamente, ragguagliarsi a quella dell'aria esterna, giacchè altrimenti si verificano di nuovo rifrazioni della luce,

che si sottraggono al calcolo, e gli errori istrumentali varierebbero troppo rapidamente se la temperatura delle sue parti metalliche cambiasse notevolmente durante l'osservazione. Questa necessità della uniformità della temperatura dell'ambiente di osservazione con quella dell'aria esterna, può in certe circostanze richiedere molta resistenza ed energia all'astronomo, che bene spesso deve per notti intiere coll'occhio al cannocchiale andar contando secondi e scrivere numeri, sotto il

Fig. 209. — Osservatorio di Nizza.

freddo più intenso. Per soddisfare il più che si può a questa esigenza dell'uguaglianza di temperatura, si suole situare il circolo meridiano in un padiglione meridiano speciale abbastanza lontano dagli altri edifizi, e costrutto leggermente con ferro zincato e con rivestimento in legno.

Non si può evitare, a causa di quanto sta intorno, di collocare l'equatoriale alquanto più in alto del suolo terrestre, perchè altrimenti gli edifizi che si trovano nelle vicinanze, i gruppi d'alberi, nasconderebbero una parte troppo grande del cielo. Giacchè su gl'istrumenti di questa specie non si possono avere pretese grandi di stabilità, ci si può permettere di collocarli all'altezza di un secondo o terzo piano, impiantandoli sopra un solido pilastro, che percorra tutta l'altezza, o sopra una volta molto solida. Quest'ultimo modo di costruzione, nel quale si acquista sotto il refrattore un bell'ambiente a cupola, non è applicabile ai grandi istrumenti, a cagione del loro grande peso.

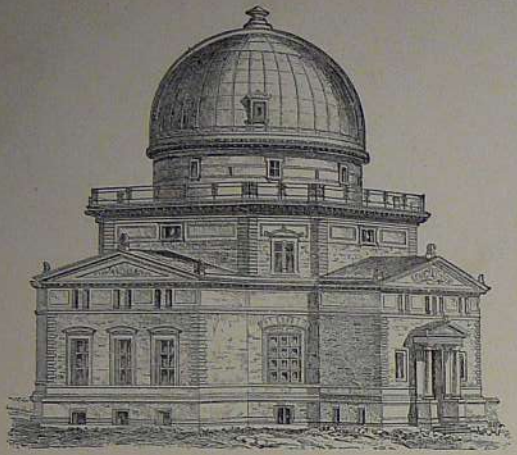
I massimi cannocchiali impiantati a questo modo sono forse il *diciotto pollici* dell'Osservatorio di Strasburgo ed il *dodici pollici* dell'Osservatorio Urania in Berlino. Quest'ultimo pesa 4358 kg., senza contare la cupola circostante; la volta,

che porta questo carico, è sorretta da otto pilastri con fondazioni profonde, che in muratura massiccia coprono ciascuno da 3 a 4 mq. di superficie del suolo. Noi riproduciamo una sezione del padiglione equatoriale e di altre parti dell'Osservatorio Kaiser Wilhelm dell'Università di Strasburgo (vedi la qui unita tavola). Da essa vediamo che l'edifizio contiene tre ambienti coperti da cupola, uno dentro l'altro; il mediano (*b*) è nell'interno ancora provvisto di una volta particolarmente spessa che, tranne due porte, non ha alcun'altra apertura. Su questo ambiente pertanto le fluttuazioni di temperatura agiranno soltanto molto lentamente; esso deve riguardarsi come una cantina praticata al primo piano, che ha sulle cantine dei sotterranei il vantaggio di essere asciutta. Qui sono collocati gli orologi normali dell'osservatorio, che sono collegati elettricamente colle sale d'osservazione. Si entra in quell'ambiente unicamente per ricaricare gli orologi, cioè una volta alla settimana. Lo spaccato dell'Osservatorio di Vienna (vedi fig. 206) mostra per contro il massiccio pilastro sul quale poggia il *ventisei pollici* di quell'osservatorio. Una scala a chiocciola che gira attorno al pilastro conduce alla sala d'osservazione, il cui pavimento è all'altezza del tetto della rimanente parte dell'edificio. Attorno al padiglione centrale gira una galleria che mette alle più lontane sale d'osservazione. Sullo spaccato, a sinistra, vedesi la sala meridiana. È pur visibile la fessura meridiana; ancora più lontano, in alto, scorgesi una cupola più piccola. Due altre cupole simili, pure esistenti, non si possono vedere nella sezione, giacchè esse stanno rispettivamente davanti e di dietro al piano di quella, disposte in croce, colle due cupole disegnate. Dalla pianta (fig. 207) ciò appare subito. Per questo osservatorio fu innalzato un imponente edificio monumentale (fig. 208), che contiene tutti i locali necessari, compresevi le abitazioni di servizio.

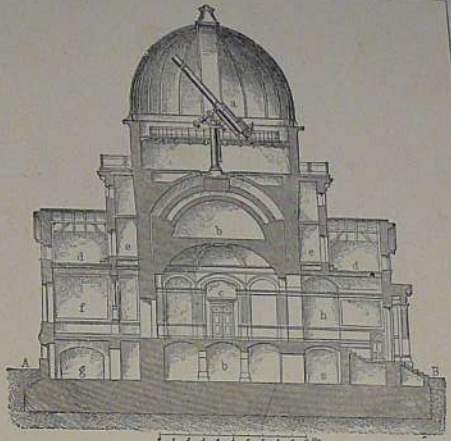
In questi ultimi tempi si preferisce di porre almeno i principali strumenti in padiglioni separati, come appare dal piano dell'Osservatorio di Strasburgo. A destra sta la sala meridiana, che nel suo avancorpo ha ancora due cupole, l'una per l'altazimut, l'altra per un rifrattore più piccolo. A sinistra s'innalza l'edifizio dell'equatoriale; le abitazioni sono affatto separate da entrambi, però i tre edifizi sono fra loro riuniti da gallerie coperte. All'Osservatorio di Harward College in Cambridge (Nordamerica) si andò molto più avanti. L'Osservatorio di Cambridge, per fermo il più complesso di tutti, appare come una piccola città di piccole case in ferro appositamente costrutte. L'istituto ripete il suo ricco corredo di strumenti esclusivamente dalla liberalità di privati, e quindi ogni istrumento, appena giunge, è allogato nella sua propria casetta. Riproduciamo anche (fig. 209) una rappresentazione dell'Osservatorio di Nizza, il quale consta parimente di vari edifizi per i diversi istrumenti.

2. — La forma e la grandezza della Terra.

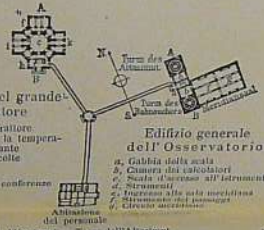
Se col cerchio meridiano si tien dietro di giorno in giorno al movimento degli astri, noi troviamo confermato dall'istrumento che le stelle sembrano muoversi girando attorno ad un punto fisso, come se fossero appiccicate ad una sfera



Edifizio pel grande refrattore (Prospetto).

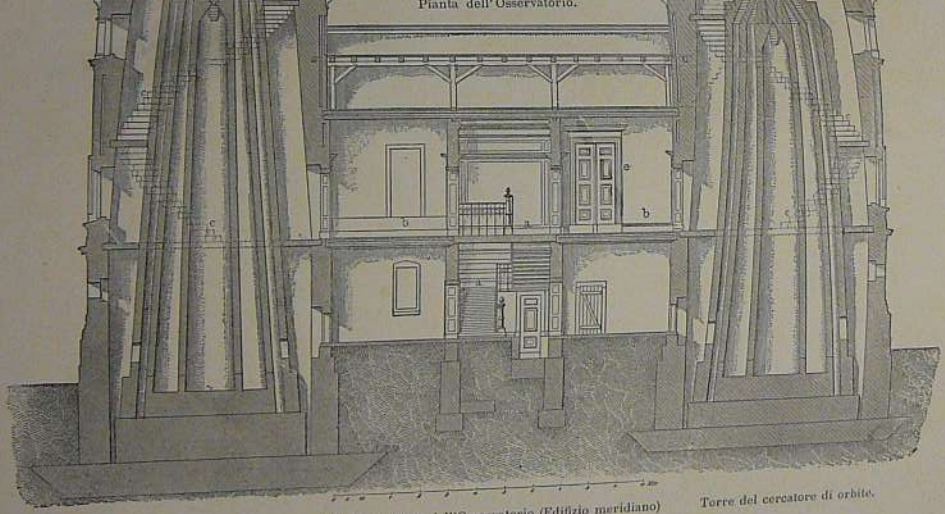


Edifizio pel grande refrattore (Sezione secondo A e B).



Pianta dell' Osservatorio.

Pianta dell'Osservatorio.



Torre dell'Altazimut. Edifizio generale dell'Osservatorio (Edifizio meridiano) (Sezione secondo A e B della piccola pianta sovrastante). Torre del cercatore di orbite.

Osservatorio dell'Università Kaiser Wilhelm in Strasburgo.

roteante, giacchè ogni stella fissa ritorna al meridiano esattamente dopo 24 ore di empo siderale. In ciò il punto di rotazione del firmamento, il polo celeste, rimane ssolutamente fermo rispetto all'orizzonte di un luogo d'osservazione. Questo punto viene fissato nel modo più esatto col circolo meridiano, a mezzo delle così dette leterminazioni dell'*altezza del polo*. Perciò si misura l'altezza sull'orizzonte di una stella che si trovi vicino al polo, al suo passaggio al meridiano, nel modo già descritto; e si ripete la misura 12 ore dopo quando la stella passa di nuovo per il meridiano; le stelle che sono vicino al polo hanno nel corso del giorno due culminazioni visibili: la superiore, a Sud del polo, l'inferiore a Nord di esso, giacchè esse compiono l'intiero giro del loro movimento diurno sopra l'orizzonte.

Nella sua culminazione superiore l'altezza misurata della stella è uguale alla altezza del polo, cioè alla minima distanza angolare del polo dall'orizzonte, aumentata della distanza polare della stella; nella culminazione inferiore, per contro, l'altezza misurata dell'astro è uguale all'altezza polare, diminuita della distanza polare, come appare dalla figura 210. La metà della differenza delle due misure fornisce quindi la distanza polare della stella, cioè la sua posizione in cielo, ancora affetta da qualche incertezza; e la media delle due letture dà immediatamente l'altezza del polo o latitudine del luogo d'osservazione. Così, ad esempio, se l'altezza di una stella alla sua culminazione superiore (h_1 nel nostro disegno) è uguale a 55°, mentre la si trova uguale a 49° (h) a quella inferiore: la latitudine (φ) riesce uguale ad $^1/_2\,(55 + 49) = 52°$: la distanza polare (p) della stella è $^1/_2(55 - 49) = 3°$. La stella ha pertanto una declinazione di $90° - 3° = 87°$.

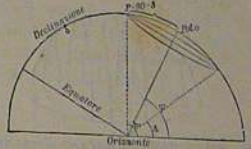


Fig. 210. — Determinazione della latitudine di un luogo d'osservazione.

Poichè la latitudine è uno dei dati più importanti per gli studi astronomici, così essa viene determinata per il sito del cerchio meridiano di un osservatorio con osservazioni ripetute le centinaia di volte. Nel fare ciò si constatò anche che per un medesimo punto della superficie terrestre essa è invariabile almeno coll'approssimazione di esigue frazioni di un secondo d'arco.

Per contro i vari luoghi d'osservazione hanno latitudini differenti. Se noi camminiamo procedendo verso il Nord, cioè nella direzione del polo celeste settentrionale, questo si va ognor più elevando sull'orizzonte; per contro se noi andiamo verso il Sud, il polo settentrionale si abbassa. Procedendo in questa direzione noi giungiamo finalmente ad una regione della Terra, dalla quale noi vediamo il polo settentrionale all'orizzonte, e precisamente al punto Nord di esso; contemporaneamente al punto Sud dell'orizzonte compare il polo Sud. L'asse del mondo che collega i due poli giace qui nel piano dell'orizzonte; ed il piano dell'equatore celeste che è equidistante dai poli deve essere perpendicolare all'orizzonte. Poichè tutte le stelle si muovono parallelamente all'equatore, esse s'innalzano perpendicolarmente all'orizzonte orientale e tramontano in modo analogo ad occidente. L'arco, detto *arco diurno*, che esse descrivono sopra l'orizzonte dal levare al tramontare, è esattamente un semicerchio: la rimanente metà del loro movimento, l'*arco notturno*, si compie sotto l'orizzonte.

Nel corso di 24 ore, per un luogo collocato all'equatore, divengono poco per volta visibili tutte le stelle del firmamento. Pertanto se sulla superficie della Terra noi camminiamo lungo la direzione corrispondente all'equatore celeste, cioè direttamente verso Ovest o verso Est, nulla si altera nelle circostanze descritte; i poli rimangono all'orizzonte, le stelle s'innalzano perpendicolarmente, ed i loro archi diurni e notturni rimangono fra loro uguali. La linea che noi percorriamo compiendo questo viaggio fu detta l'equatore terrestre. In ogni punto di questo l'equatore celeste passa per lo zenit dell'osservatore, nonchè precisamente per i punti Est ed Ovest dell'orizzonte. Le stelle tramontano e sorgono a distanze angolari azimutali a Sud ovvero a Nord di questi punti d'intersezione dell'equatore, eguali a quelle che le separano a Sud od a Nord dall'equatore celeste, vale a dire l'azimut del punto in cui levano, contato dal Nord, è uguale a $90^{o} - \delta$.

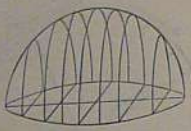


Fig. 211. — Posizione dell'arco diurno degli astri, lungo l'equatore terrestre.

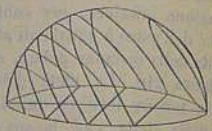


Fig. 212. — Posizione degli archi diurni degli astri sotto una latitudine compresa tra il polo e l'equatore.

Se ora da un punto qualsiasi dell'equatore terrestre ci dirigiamo verso un polo celeste, ove le condizioni del terreno non lo impediscano, finiremo per arrivare ad un punto della superficie terrestre, nel quale il polo celeste starà precisamente allo zenit dell'osservatore; noi, ove ciò fosse possibile, ci troveremo sopra uno dei poli terrestri. È noto che mancano solo ancora pochi gradi, perchè i nostri arditi esploratori raggiungano uno di questi punti (*a*). Colà la vôlta celeste si muove attorno ad un asse perpendicolare all'orizzonte. Poichè il polo celeste è allo zenit, l'equatore deve coincidere coll'orizzonte, ed i circoli di declinazione paralleli all'equatore, lungo i quali le stelle compiono il loro moto diurno, qui sono pure paralleli all'orizzonte. Si vede pertanto che al polo nessuna stella nè sorge nè tramonta, ma circola intorno intorno sul cielo sempre alla medesima altezza sull'orizzonte, la quale è uguale alla sua latitudine equatoriale (declinazione). Da ciascun polo è visibile sempre soltanto una metà della vôlta stellata, mentre l'altra rimane costantemente sotto l'orizzonte.

La distanza dall'equatore a ciascuno dei due poli è stata divisa in 90 gradi di latitudine: l'altezza del polo sull'orizzonte di un dato luogo è uguale alla latitudine di quel luogo. Mentre all'equatore diviene poco alla volta visibile sopra l'orizzonte tutta la vôlta celeste, al polo non è visibile che la metà esatta; nelle latitudini intermedie il movimento della vôlta celeste è tale, che lascia scorgere

(*a*) [Mentre si sta stampando la presente opera, un principe di Casa Savoia, il Duca degli Abruzzi, sta organizzando una spedizione italiana per raggiungere il Polo Nord. Gli auguri di tutti seguiranno nell'audace impresa questo ardito giovane principe, che salì pel primo sul Monte S. Elia nell'Alaska. (O. Z. B.)].

una certa parte dell'emisfero celeste che sovrasta agli antipodi. Così, ad esempio, per una latitudine geografica di 52,5°, l'equatore celeste deve avere sull'orizzonte un'altezza di $90° - 52,5° = 37,5$; come si può vedere dalla figura 210. Quindi in quel luogo, in causa del moto apparente di rotazione della sfera celeste, possono apparire ancora sopra l'orizzonte stelle a 37,5° di latitudine a Sud dell'equatore, e rimarranno invisibili soltanto quelle poste ancora più a Sud. Per contro tutte le stelle che hanno una declinazione settentrionale superiore a 37,5° rimarranno costantemente sopra l'orizzonte, cioè non sorgono nè tramontano; ciò perchè queste stelle stanno sopra una zona intorno al polo celeste visibile, il cui raggio misurato dal polo è precisamente uguale alla latitudine del luogo che si considera. Quindi se una stella ha la sua distanza polare uguale all'altezza del polo, nella sua posizione infima toccherà ogni giorno l'orizzonte. Tali stelle che non sorgono e non tramontano mai, si dicono *circumpolari*. All'equatore nessuna stella è circumpolare, mentre al polo lo sono tutte le stelle che vi sono visibili. Di tutte queste condizioni e circostanze del moto diurno delle stelle è facile il rendersi chiaro conto a mezzo di un globo celeste, il cui orizzonte possa disporsi in modo da corrispondere ad ogni latitudine (*a*).

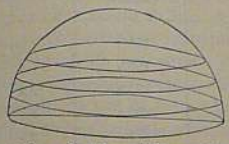


Fig. 213. — Posizione dell'arco diurno degli astri ad uno dei poli terrestri.

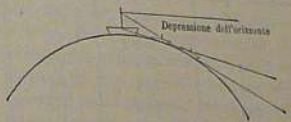


Fig. 214. — La depressione dell'orizzonte.

Mentre noi andavamo percorrendo la superficie terrestre, allo scopo di riconoscere il movimento apparente della vôlta celeste, due osservazioni potevano senza alcuna nozione preliminare di sorta, persuaderci che la Terra deve essere un corpo rotondo: così si constata subito che camminando lungo l'equatore, sempre nella stessa direzione celeste (se i due poli celesti si mantengono costantemente all'orizzonte, noi non abbandoniamo mai l'equatore), noi torniamo per ultimo al punto di partenza. Inoltre se parecchie persone partono da diversi punti dell'equatore, e si dirigono verso il medesimo polo celeste, cioè ad angolo retto coll'equatore, sempre così avanzandosi, quanto più il polo celeste si va elevando sopra il loro orizzonte, tanto più si accosteranno l'una all'altra per incontrarsi nel polo terrestre. Ciò non avverrrebbe se la Terra fosse realmente un enorme disco piatto, quale si mostra alla nostra vista e quale era ritenuta nell'antichità; giacchè sopra un piano le rette che sono perpendicolari ad un'altra non vanno mai accostandosi, ma proseguono parallele fino all'infinito. Se non temessimo di soverchiamente indugiarci sopra cose elementari, noi vorremmo discutere diffusamente altre prove della sfericità della Terra. Limitiamoci a considerare ancora il

---

(*a*) [Uno dei migliori libri elementari per lo studio di questa parte dell'Astronomia è sempre quello del *Delaunay*, del quale si ha una versione italiana. (O. Z. - B.)].

fenomeno della depressione dell'orizzonte che ha un interesse astronomico. Innalzandosi sopra una superficie piana, anche soltanto di una piccola altezza, stando alle pure considerazioni teoriche, si dovrebbe poter abbracciare collo sguardo tutta la pianura, fino ai suoi ultimi confini. Solo la nostra incapacità ottica produrrebbe all'orizzonte una graduale evanescenza, ad esempio di una distesa di mari; una delimitazione netta fra il mare ed il cielo, quale la si vede realmente, sarebbe impossibile. Questa delimitazione proviene soltanto da ciò, che dal nostro punto di stazione elevato sulla superficie del mare, la visuale è tangente alla superficie del mare convessa all'insù (vedi figura 214). Evidentemente in questa condizione il punto di contatto della visuale colla superficie convessa sarà tanto più lontano quanto più alto è il punto, dal quale noi stiamo guardando sulla superficie medesima. Come ognuno sa, dalle alte montagne si gode di una veduta più ampia.

Prospetto dell'estensione dei circoli di veduta.

Altezza del luogo d'osservazione sulla superficie del mare Metri	Raggio del circolo di veduta Chilometri	Depressione dell'orizzonte	Altezza del luogo d'osservazione sulla superficie del mare Metri	Raggio del circolo di veduta Chilometri	Depressione dell'orizzonte
5	8,0	0,1°	2000	159,7	1,4°
10	11,3	0,1	3000	195,6	1,7
50	25,3	0,2	4000	225,8	2,0
100	35,7	0,3	5000	252,5	2,3
200	50,5	0,5	6000	276,6	2,5
500	79,9	0,7	7000	298,6	2,7
1000	112,9	1,0	7500	309,2	2,8

Rappresentiamo la Terra come una sfera nel centro di una vôlta celeste solida, e da un punto alquanto elevato sulla superficie terrestre conduciamo le due tangenti alla Terra, allora vedremo che da quel punto deve essere visibile più della metà della sfera celeste: ciò è confermato nella realtà da esatte misure. Si chiama depressione dell'orizzonte, di un luogo d'osservazione elevato, l'angolo che la visuale condotta all'estremo limite di visibilità fa coll'orizzontale, condotte s'intende entrambe dall'occhio; nelle osservazioni in alto mare bisogna tener sempre conto della depressione dell'orizzonte, perchè in esse si misurano le altezze degli astri direttamente sull'orizzonte visibile del mare. Sugli osservatori però, per quanto elevati essi siano, non occorre considerare la depressione dell'orizzonte, in essi la posizione del vero orizzonte si trova coll'osservazione della superficie di mercurio, della quale già si è parlato più avanti. Però la posizione elevata degli osservatori conserva sempre il vantaggio, che loro conferisce la depressione dell'orizzonte, che cioè gli astri vi si levano più presto e tramontano più tardi che in pianura, e perciò vengono più presto in posizioni, nelle quali i bassi vapori dell'atmosfera non sono più d'impedimento all'osservazione. Ad esempio, all'Osservatorio Lick, alto 1200 metri sul livello del mare, il Sole si leva in media 5 o 6 minuti al livello del Mar Pacifico, prima che alla costa ai piedi del Monte Hamilton. Colà la depressione vale 1°,1.

Mentre in questo caso le osservazioni più esatte contraddicono all'apparenza, giacchè stando a questa la Terra sembra una superficie piana; vi è un'occasione, nella quale l'osservatore riflessivo riconosce nell'apparenza diretta, il contorno circolare del corpo terrestre; quest'occasione è offerta dagli eclissi lunari. Come dimostreremo più avanti, questi eclissi sono prodotti dall'ombra della Terra che cade sulla Luna (Vedi tavola: *Eclisse parziale di Luna*). In essi noi vediamo il profilo della Terra da una distanza tanto grande, che malgrado la grandezza del corpo della nostra Terra, possiamo abbracciarla con uno sguardo. Poichè questo profilo è circolare, qualunque sia l'angolo sotto il quale durante un tal fenomeno i raggi solari incontrano la Terra, così questa deve essere ad un dipresso sferica.

Tutte queste constatazioni ci autorizzano ad ammettere come una prima approssimazione alla verità, la forma sferica della Terra, riserbandoci di determinarne poi la forma e la grandezza, con precisione, mediante quelle delicate misure, che l'astronomo può istituire a mezzo del circolo meridiano e di altri congegni. A tal fine, per prima cosa, noi scompartiamo la sfera celeste, a mezzo dei gradi di longitudine e latitudine, il cui sistema è parallelo a quello delle ascensioni rette e declinazioni del globo celeste. Rappresentiamoci pertanto un globo terrestre disposto nel centro di una sfera cava che rappresenti la vôlta celeste, e conduciamo per i circoli di latitudine della Terra dei piani, questi prolungati passano per i circoli di declinazione della vôlta celeste. Per i piani meridiani ciò non avviene immediatamente, poichè la vôlta celeste gira apparentemente, intorno alla Terra, in 24 ore di tempo siderale. Il piano di un dato meridiano terrestre viene quindi successivamente a coincidere con i piani di tutti i meridiani celesti, o circoli di longitudine come sono detti. Anche questo fatto è osservabile coi nostri strumenti astronomici, e con esso noi determiniamo il tempo del luogo d'osservazione.

Reciprocamente, ogni dato meridiano della sfera celeste viene a coincidere con tutti i meridiani terrestri, e noi possiamo utilizzare questa circostanza per determinare la differenza di longitudine di due luoghi della Terra; tale differenza è evidentemente eguale alla differenza dei tempi di culminazione di una stella per entrambi i luoghi d'osservazione. Se nei due luoghi dei quali si vuole determinare la differenza di longitudine esistono dei circoli meridiani, è facile il risolvere quella questione: basta osservare nei due luoghi la medesima stella al suo passaggio al meridiano. La differenza del tempo siderale a quei due momenti è senz'altro eguale alla differenza delle longitudini geografiche dei due luoghi, che così vengono determinate in modo affatto indipendente dalle latitudini geografiche.

In pratica, invece, la determinazione della differenza di longitudine geografica non si presenta così semplice, e ciò a causa della grande esattezza che si richiede in essa. Poichè le osservazioni debbono venire istituite contemporaneamente in due luoghi lontani, così si hanno due strumenti, due orologi normali, due osservatori, coi loro propri errori, i quali ultimi devono venir rimossi dai risultati. Noi sappiamo già come si determinino gli errori del circolo meridiano, degli orologi normali e dell'osservatore; ma ora si presenta la difficoltà di paragonare istantaneamente lo stato di un pendolo normale con quello di un altro, situato in una lontana regione. Altra volta non era possibile far altro che il paragonare prima coll'orologio normale di un luogo uno o più orologi trasportabili, della

natura dei cronometri a scatola, e quindi recarsi al sito dell'altro orologio normale, e confrontare quelli, portati ivi, con questo; è evidente che con ciò dovevano prodursi degli errori dei quali non si poteva tener conto. Oggi questo *trasporto del tempo* è enormemente facilitato e reso più sicuro dal telegrafo elettrico che avvolge tutte le contrade. Quando occorre istituire una determinazione di differenza di longitudine importante, le autorità competenti mettono a disposizione degli astronomi durante parecchie ore un filo che congiunge direttamente i due osservatori. I collegamenti sono così disposti che i contatti elettrici di uno degli orologi normali mette in moto la penna dei minuti del cronografo dell'altro luogo di osservazione, mentre la seconda penna del cronografo viene posta in movimento dall'orologio che in esso luogo si trova. La distanza fra i punti dei minuti secondi dà quindi immediatamente la differenza degli stati dei due orologi normali. A mezzo di osservazioni precise ci si libera poi dagli errori dei cronografi, dall'influenza dell'equazione personale nonchè dal tempo che la corrente elettrica impiega per giungere da un luogo ad un altro.

Tali determinazioni telegrafiche di longitudine furono già in buon numero istituite in molti luoghi, attraverso ad estese regioni, ed anche a mezzo del cavo transatlantico. Le differenze di longitudine così ottenute ed espresse in tempo si possono senz'altro convertire in misura angolare moltiplicandole per 15 (360 gradi = 24 ore). Se si fosse eseguita una tale determinazione fra due luoghi situati, ad esempio, sull'equatore, e la cui distanza fosse nota in misure solite, si potrebbe esprimere la circonferenza dell'equatore terrestre in quelle misure, nell'ipotesi che la Terra sia una sfera perfetta. Così se si fosse trovato che due luoghi dell'equatore differiscono fra loro in longitudine di 2 gradi, noi sapremmo subito che essi distano fra loro della centottantesima parte della circonferenza terrestre, poichè l'equatore è diviso in 360 gradi di longitudine. Se poi noi avessimo ancora nel tempo medesimo constatato, in un modo qualunque, che la distanza dei luoghi detti è di 30 miglia, allora tutta la circonferenza dell'equatore dovrebbe essere lunga $30 \times 180 = 5400$ miglia (*a*). La condizione che questa misura debba essere eseguita precisamente all'equatore può essere facilmente evitata, giacchè le misure di longitudine istituite sotto una latitudine qualunque possono essere facilmente ridotte all'equatore, o ad un altro così detto circolo massimo, a mezzo di una determinazione della differenza di latitudine, che si ha immediatamente dalla misura dell'altezza del polo nei due luoghi. Quindi per poter computare le dimensioni terrestri a mezzo di una delle misure che possiamo maneggiare, dopo aver fissato sulla superficie terrestre la posizione geografica dei due luoghi, ci rimane ancora a misurare con quella unità di lunghezza effettivamente sopra un circolo massimo la distanza fra questi due punti. Questo è il còmpito della *triangolazione*.

Teoricamente, anche questo còmpito si eseguisce facilmente. Col pensiero si ricopre la superficie terrestre fra i due luoghi d'osservazione con dei grandi triangoli ideali. Poi ci si provvede di un teodolite, che è uno strumento trasportabile per

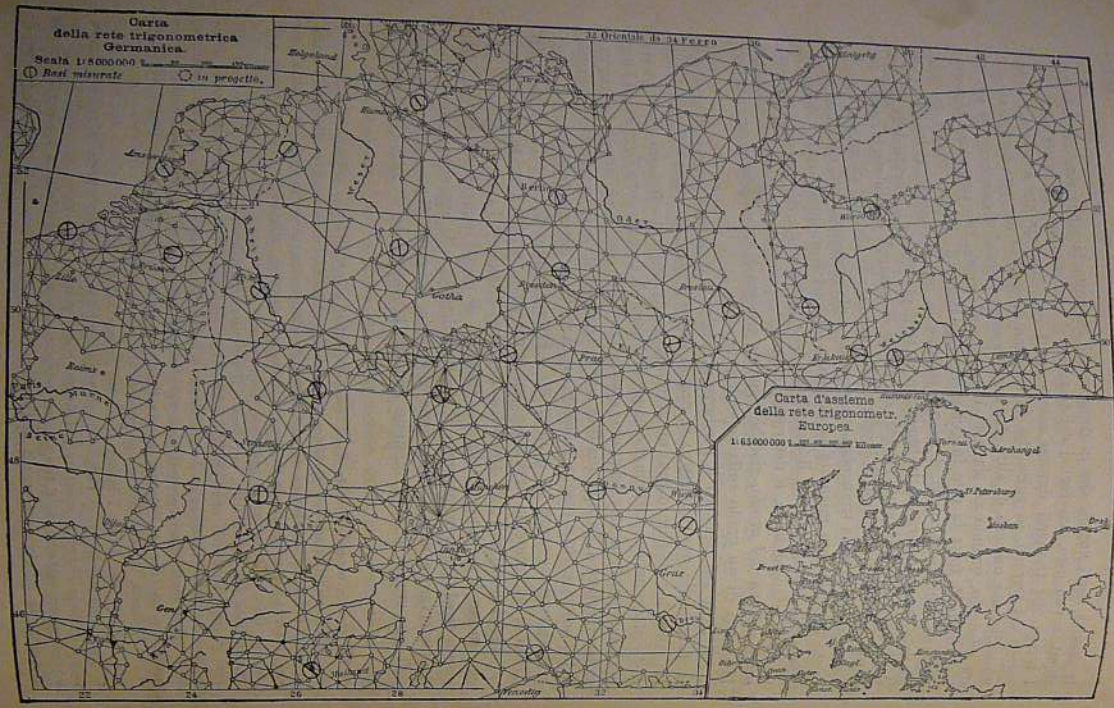
(*a*) [Si avverta che si tratta di miglia geografiche = $^1/_{15}$ del grado dell'equatore ed equivalente ciascuna a km. 7,422, secondo l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*. Si trovano in taluni autori valori diversi dal precedente: ciò dipende dalla diversità dei valori adottati per il raggio terrestre e quindi per la lunghezza della circonferenza dell'equatore. (O. Z. B.)].

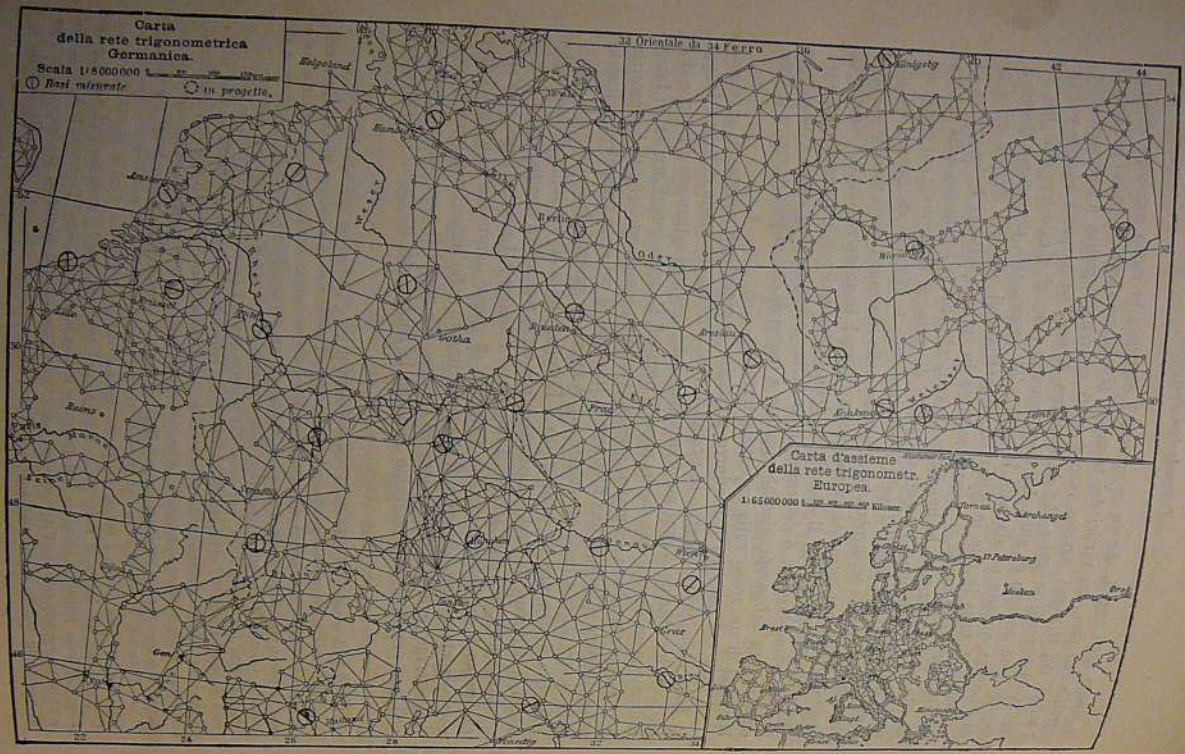
la misura degli angoli, che in complesso è costrutto in modo consimile all'alta-zimut, e con esso, dai vertici dei triangoli, si misurano tutti gli angoli della rete. I vertici dei triangoli devono essere scelti convenientemente a seconda della natura del terreno, in guisa che da ciascuno di essi, se ne possa sempre vedere un sufficiente numero di altri. La trigonometria insegna a calcolare due lati di un triangolo, quando ne sia noto il terzo e gli angoli. Ora si possono disporre i triangoli di tutta la rete in guisa che due triangoli abbiano sempre un lato comune; quindi se anche si misura soltanto in tutto il sistema la lunghezza di un lato, si conosceranno le lunghezze di tutti gli altri lati, a mezzo della misura degli angoli. I due punti estremi della rete di triangoli coincidono coi centri dei cerchi meridiani dei nostri luoghi d'osservazione; la distanza di questi, quindi, viene, a mezzo della triangolazione, espressa nella medesima unità di misura, colla quale fu realmente misurata la lunghezza di quel lato: questo lato si chiama la *base* della triangolazione. Il complesso delle operazioni a ciò necessarie, misura di base, triangolazione, e determinazione della posizione geografica, è designato come *misura del grado*, giacchè appunto a mezzo di esse si può misurare la vera lunghezza di un grado sulla superficie terrestre.

È facile col pensiero il condurre a termine la gigantesca impresa di avvolgere la Terra colle nostre misure; in pratica invece è molto ma molto difficile e lungo. Da parecchie diecine d'anni un gran numero dei migliori astronomi d'Europa si è costituito in un'associazione che ha preso il nome di Commissione Europea od Internazionale per la misura del grado; questa, lavorando con grande attività, ha tracciato sulla superficie d'Europa una fitta rete di triangoli, il cui stato presente è delineato nella nostra carta a pagina seguente (*a*). A mezzo di quella folla di rette e di angoli si intende di misurare un gran tratto d'Europa, che si stende nella direzione dei circoli di latitudine da Orsk a Lisbona, e nel verso normale a questo, vale a dire in quello dei meridiani, dal Capo Nord fino quasi a Bukarest. La carta ci dice senz'altro che questo è un lavoro colossale. Ciascuno di questi innumerevoli triangoli deve essere ripetutamente misurato, il che specialmente nelle regioni montuose richiede dall'osservatore molta abnegazione ed energia. Gli errori di osservazione per triangoli così grandi non permettono mai che la somma dei tre angoli di ciascuno di

---

(*a*) [Questa accolta di astronomi, fisici e geodeti è un'istituzione ufficiale governativa che ora si chiama *Associazione geodetica internazionale*. I membri di essa sono nominati dai Governi dei vari paesi: le operazioni da essa compiute sono sostenute per la parte finanziaria pure dai Governi, ed eseguite da astronomi, ingegneri geografi, ufficiali di Stato Maggiore o di marina. Questa *Associazione geodetica internazionale* si riunisce d'ordinario ogni tre anni, ora in una città ora in un'altra, per fissare il programma dei lavori, udire le relazioni dei vari suoi membri su quelli ultimati od in corso, ed esaminare tutte le questioni che si riferiscono alla determinazione della grandezza e forma della Terra, e quelli che vi si connettono. Il disbrigo degli affari correnti e le pubblicazioni sono affidate ad una Commissione permanente che ha sede in Potsdam presso Berlino, e della quale oggi (marzo 1899) è presidente il Dr Helmert, il più illustre dei geodeti viventi. Ogni Stato poi ha una Commissione geodetica speciale che dirige i lavori di questo genere nel suo territorio. Così è dell'Italia, la cui Commissione geodetica si raduna d'ordinario ogni tre anni. Oggi è presidente di essa il generale Annibale Ferrero, senatore del Regno e comandante del Corpo d'armata di Milano, che è pure vicepresidente dell'*Associazione geodetica internazionale*. L'ultima conferenza generale di questa fu tenuta a Stoccarda nell'ottobre 1898. (O. Z. B.)].


Carta
della rete trigonometrica
Germanica.
Scala 1:8000000
Basi misurate
in progetto.
32 Orientale da 34 Ferro
Carta d'assieme
della rete trigonometr.
Europea.
1:65000000
Kilometr.
Gotha
Graz
Venedig
Reims
Gen
St. Petersburg
Archangel
Moskau
Brest


Carta
della rete trigonometrica
Germanica.
Scala 1:8000000
Basi misurate
in progetto.
32 Orientale da Ferro
Carta d'assieme
della rete trigonometr.
Europea.
1:65000000

Meridiano di Roma
6°
5°
4°
3°
2°
1°
0°
46°
45°
44°
43°
42°
41°
40°
Alpi Pennine
M. Bianco
M. Rosa
Alpi Retiche
M. Ortler
VIII
VII
XII
XIII
XVIII
MILANO
TORINO
M. Viso
ALESSANDRIA
PIACENZA
GENOVA
Albenga
PORTO MAURIZIO
S. Remo
NIZZA
VENEZIA
BOLOGNA
Spezia
Arcipelago Toscano
Massa Mar.
I. d'Elba
GROSSETO
Bastia
S. Fiorenzo
M. Cinto
Corte
M. Rotondo
Aleria
Bocognano
AIACCIO
Sartene
Porto Vecchio
Bonifacio
Bocche di Bonifacio
I. Maddalena
I. Caprera
Punta Caprara
I. dell' Asinara
Tempio
Alghero
Nuoro
Oristano
Lanusei
MARE

Meridiano di Roma
Alpi Retiche
Alpi Tenne
Alpi Carniche
Alpi Cadore
Alpi Marittime
Arcipelago Toscano
Bocche di Bonifacio
MARE
VIII
XIII
XII
XI
XV
XVIII
MILANO
TORINO
GENOVA
VENEZIA
BOLOGNA
FIRENZE
ROMA
PORTO MAURIZIO
SIZZA
ALESSANDRIA
PIACENZA
MANTOVA
VICENZA
TRIESTO
BELLUNO
PISA
LUCCA
SIENA
GROSSETO
AREZZO
Massa Mar
Bastia
Calvi
Corte
Ajaccio
Sartene
Porto Vecchio
Bonifacio
Maddalena
Caprera
Sassari
Alghero
Oristano
Cagliari
Iglesias
Nuoro
Tempio
Porto Torres
Punta Caprera
Palmarola

CARTA DIMOSTRATIVA

DELLA

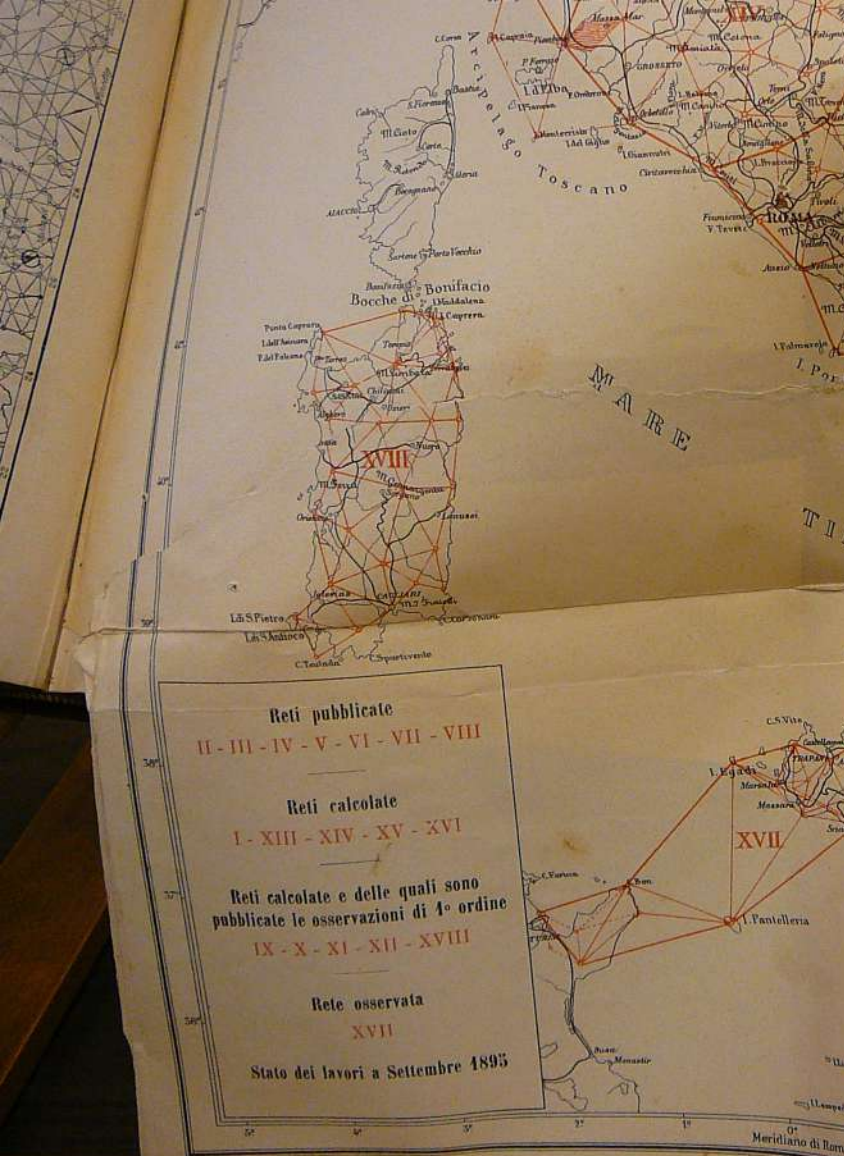
TRIANGOLAZIONE DI I° ORDINE

DELL'

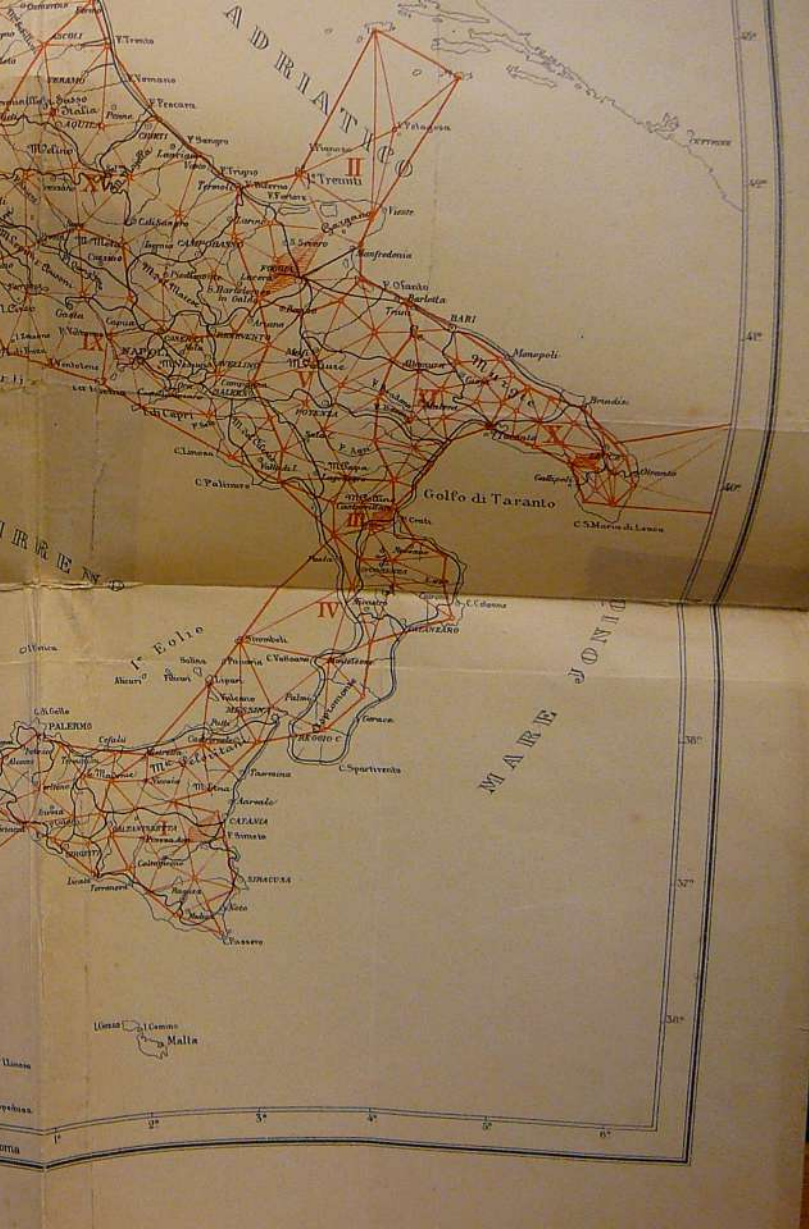
ITALIA CONTINENTALE ed INSULARE

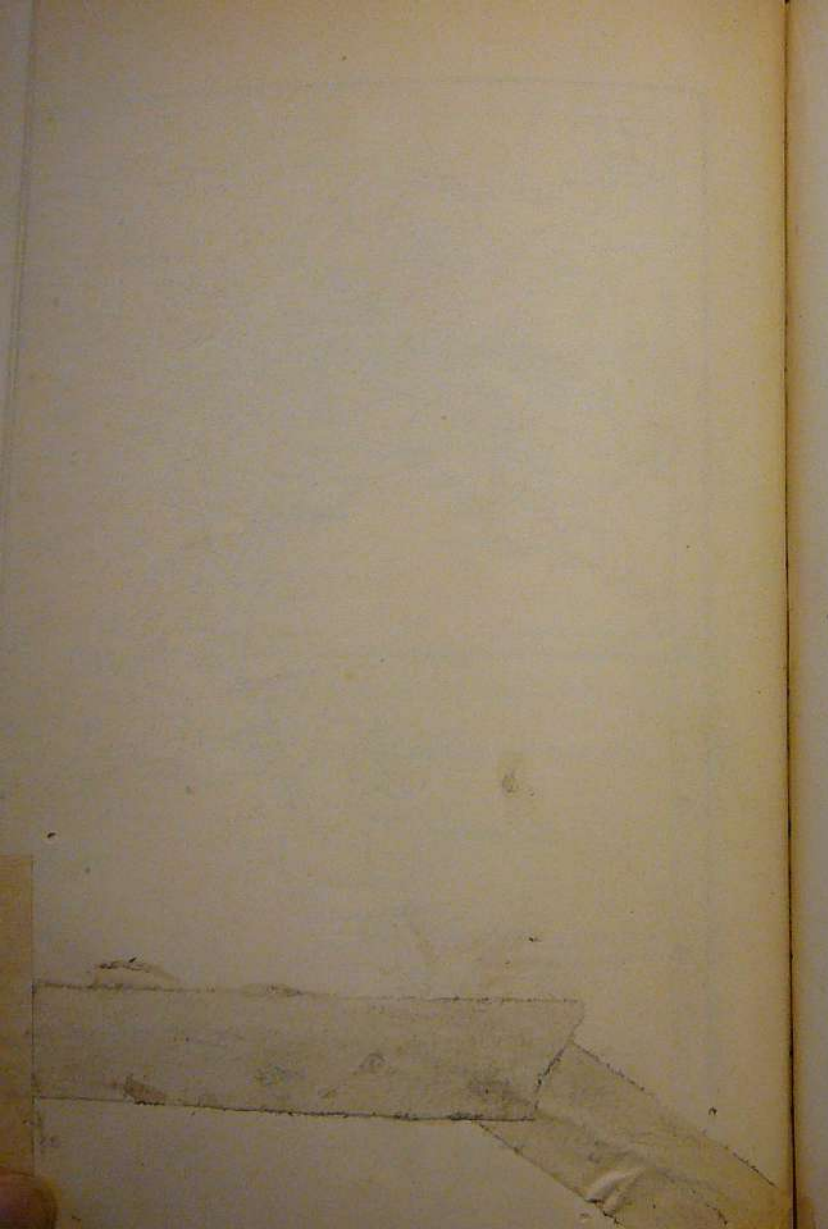
Basi geodetiche misurate.

Scala di 1 : 4.000.000.



Unione Tip-Editrice Torinese.


ADRIATICO
MARE JONIO
Golfo di Taranto
Malta
Gozzo
Comino
Le Eolie
Stromboli
Vulcano
Lipari
Salina
PALERMO
MESSINA
REGGIO
CATANIA
SIRACUSA
Mte Etna
Mte Gargano
Mte Vulture
Mte Velino
Mte Majella
Mte Corno
Mte Cavallo
NAPOLI
Capri
Ischia
Procida
Caserta
BENEVENTO
AVELLINO
SALERNO
POTENZA
MATERA
BARI
Monopoli
Brindisi
Otranto
Gallipoli
C. S. Maria di Leuca
C. Palinuro
C. Spartivento
C. Passero
Pescara
Teramo
Ascoli
Foggia
Manfredonia
Barletta
Trani
Andria
Bisceglie
Molfetta
Giovinazzo
Bitonto
Altamura
Gravina
Acerenza
Venosa
Melfi
Lagopesole
Muro
Tricarico
Tursi
Lagonegro
Sapri
Policastro
Amantea
Cotrone
Rossano
Corigliano
Castrovillari
Paola
Cosenza
Catanzaro
Squillace
Nicastro
Tropea
Monteleone
Palmi
Gerace
Bovalino
Roccella
Stilo
Gioiosa
Siderno
Locri
Bova
Terranova
Palma
Licata
Girgenti
Sciacca
Marsala
Trapani
Mazzara
Castelvetrano
Alcamo
Partinico
Termini
Cefalù
Patti
Milazzo
Lipari
Vulcano
Salina
Stromboli
Filicuri
Alicuri
Panarea
Basiluzzo
Lisca Bianca
Dattilo
Ustica
Favignana
Levanzo
Marettimo
Pantelleria
Linosa
Lampedusa
Gozo
Comino
Malta
1°
2°
3°
4°
5°
6°
36°
37°
38°
39°
40°
41°
42°
45°



essi valga 180 gradi, come teoricamente dovrebbe essere, così bisogna considerare un maggior numero di triangoli adiacenti, per poter dedurre, col metodo dei minimi quadrati, dalle osservazioni corrispondenti il valore più probabile per ogni angolo; si eseguisce cioè quella operazione che viene detta compensazione, e che è un lavoro molto penoso. Inoltre, contemporaneamente all'operazione della triangolazione deve venire eseguita quella detta livellazione di precisione di tutta la regione, giacchè evidentemente in causa delle disuguaglianze del suolo i triangoli misurati non possono giacere in piani orizzontali. Ma poichè teoricamente la rete di triangoli deve applicarsi alla superficie terrestre, così bisogna ridurre i risultati ad una superficie normale a mezzo della livellazione di precisione. Quella superficie non può essere una superficie piana, che tocchi uno qualunque dei punti d'osservazione come l'orizzonte, giacchè in realtà la superficie terrestre è curva. Ora i triangoli sferici, cioè quelli giacenti sopra una superficie sferica, hanno la somma dei loro angoli maggiore di 180 gradi, quindi ai triangoli piani misurati bisogna ancora apportare una correzione, quella del così detto eccesso sferico.

Finalmente per ridurre tutti i lati di questa complicata rete di triangoli ad essere espressi nella stessa unità di misura, bisogna eseguire ancora la misura di una base. Per ragioni pratiche non è conveniente di scegliere una base troppo lunga; ci si contenta d'ordinario con lunghezze di 10 a 20 km. Nella nostra carta sono segnati distintamente i luoghi dove furono eseguite misure di basi. Naturalmente, per poter riunire in un solo assieme tutti questi lavori, occorre che per tutta l'estensione della misura europea del grado venga in principio adoperata la stessa unità di misura. Poichè questo è impossibile in pratica, dalla necessità che ne deriva di dover paragonare fra loro il più esattamente che si può le diverse stanghe di misura, derivano nuove e notevolissime difficoltà. Quel confronto viene istituito a mezzo di strumenti molto delicati, detti comparatori, che in generale esistono presso le varie nazioni negli uffici di pesi e misure. La stanga di misura che serve per il paragone diretto al comparatore, viene di tempo in tempo confrontata con un'altra, che solo raramente si estrae dai ripostigli dell'archivio, onde logorarla il meno che è possibile e conservarla come la vera unità di misura fondamentale del paese. Al fine poi di mantenere una completa concordanza fra le misure fondamentali dei varii paesi che partecipano alla misura del grado, si è stabilito che l'esemplare di metro, che esiste in Parigi negli uffici della Commissione internazionale di pesi e misure, debba servire di campione a tutti gli altri; con questo debbono quindi, in ultima istanza, venir paragonate le unità di misura fondamentali di ogni paese, dette prototipi. Questo sistema di confronti di campioni ha per effetto che tutte le misure sulla Terra, e per ultimo anche quelle in tutto lo spazio celeste, sono espresse a mezzo di questo solo metro di Parigi. Dobbiamo quindi tener presente che in tutti i dati assoluti di misura, accanto alle altre incertezze, esiste sempre ancora quella che tuttora sussiste sulla vera lunghezza di questo metro fondamentale di Parigi, la quale agisce come un fattore molto grande.

In una misura di base e nella costruzione di un apparato per tale misura bisogna ben badare alle seguenti condizioni:

1ª Si deve, durante la misura, poter trovare la lunghezza delle stanghe di misura per qualunque temperatura si verifichi;

2ª Quando l'apparato consta di parecchie stanghe, come avviene per lo più, nel disporre in fila le stanghe bisogna sempre lasciare fra due successive un intervallo, giacchè nel porre l'una a contatto dell'altra si correrebbe il rischio di produrre uno spostamento della prima;

3ª Si deve porre molta cura nel sostenere l'apparato con appoggi saldi ed inamovibili, che rendano possibile l'abbassare e l'innalzare le stanghe, e permettanno di disporle comodamente nell'allineamento che corrisponde alla linea di base. Colla misura si avvertono le piccole inclinazioni delle stanghe;

4ª Al termine di ogni giorno bisogna segnare in modo durevole il punto del terreno al quale è giunta la misura: anche gli estremi della base devono essere distinti con speciali disposizioni, durature e fissamente e saldamente costrutte.

La determinazione della lunghezza delle stanghe alle differenti temperature fu eseguita in modo molto ingegnoso da Borda. Egli ridusse la stanga stessa ad essere un termometro metallico, che dà la sua propria temperatura. Una così fatta stanga consta di due stanghe di metalli diversi, quali il ferro e lo zinco, il platino ed il rame, che hanno coefficienti di dilatazione molto differenti (vedi figura 215), esse sono collegate fra loro solo in un punto, così che la dilatazione prodotta dalla temperatura può per ciascuna esplicarsi indipendentemente dall'altra. Nell'apparato di Bessel per la misura delle basi, la stanga di zinco è alle sue estremità fornita di due pezzi d'acciaio, che terminano in cunei orizzontali, mentre la stanga di ferro alquanto più lunga porta egualmente un pezzo d'acciaio, che da due parti è assottigliato a foggia di cuneo verticale. Quindi se si è misurata la distanza fra i due spigoli k_1 e k_2 dei cunei, cioè la lunghezza della stanga corrispondente alla temperatura del momento, si richiede soltanto ancora la determinazione della distanza $k_3 k_4$, fra gli spigoli dei cunei del termometro metallico, onde, a mezzo di questa quantità, ottenere la lunghezza della stanga di misura.

Il secondo punto concerne la misura dell'intervallo, che si deve lasciare fra due stanghe successive, nonchè dell'intervallo $k_3 k_4$ delle due estremità del termometro metallico. Bessel riuscì a misurare queste distanze a mezzo di sottili cunei di vetro, che venivano introdotti fra gli spigoli orizzontali e verticali dei cunei delle stanghe, e che sulle loro faccie laterali parallele portavano una esatta graduazione in linee, che permetteva di leggere lo spessore del cuneo molto bene con un'approssimazione di un millesimo di linea. Ma poichè l'introduzione dei cunei di vetro può cagionare uno spostamento delle stanghe, oggidì, per la determinazione della distanza fra le estremità di esse e del termometro metallico si impiega un microscopio accompagnato da un completo apparecchio micrometrico, portando il filo di ragno mobile a coprirne altri che funzionano come estremi delle stanghe di misura, e leggendo sul tamburo del micrometro. Perciò i microscopi vengono sostenuti nel modo più fisso possibile, indipendentemente dalle stanghe di misura.

Alla condizione indicata al n° 3 si soddisfa provvedendo l'apparecchio di misura con livelle per la determinazione dell'inclinazione, e con mezzi atti a collocarlo precisamente lungo la direzione della linea di base. Il punto terminale della misura giornaliera viene fissato col trasportare il punto stesso, a mezzo del filo a piombo, sopra un palo interrato, che porta una lastra con un punto nettamente segnato.

S'intende facilmente come durante le operazioni di misura l'apparato debba essere costantemente riparato dall'influenza dei raggi solari. Quindi la misura viene eseguita sotto una tettoja, che vien trasportata man mano che la misura procede lungo la linea di base.

Prima di esporre i risultati dei lavori eseguiti dai moderni per giungere alla conoscenza della forma e grandezza della Terra, crediamo utile gettare un rapido sguardo su quanto hanno fatto gli antichi prima d'oggi per riuscire alla soluzione di questo importante problema. Basandosi sul principio indicato, parecchi furono i tentativi eseguiti a tal fine. Cleomede, che viveva al tempo di Aristarco, dice: « Gli abitanti di Lysimachia, hanno allo zenit la *Testa del Drago*, quelli di Syene invece il *Granchio;* l'intervallo fra il Drago ed il Granchio è, come insegna anche il gnomone, la quindicesima parte del meridiano di Lysimachia e Syene, le quali città distano fra loro di 20.000 stadi; tutto il cerchio misura quindi 300.000 stadi ».

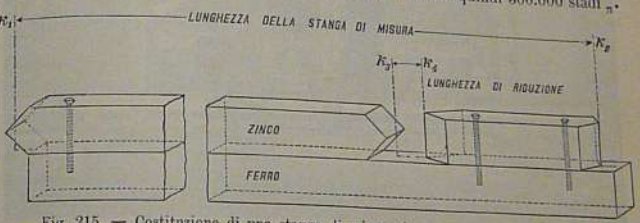


Fig. 215. — Costituzione di una stanga di misura, in rappresentazione schematica.

Per quanto si sa però, una vera misura in questo senso fu per la prima volta intrapresa da Eratostene in Alessandria. Egli osservò che in codestà città il Sole, all'epoca della sua massima altezza estiva, dista ancora dallo zenit di 7 gradi ed $^1/_6$; egli aveva inoltre constatato che a quell'epoca medesima in Syene, a mezzodì, il Sole si rifletteva in un pozzo profondo, cioè doveva colà trovarsi precisamente allo zenit. La distanza angolare di questi due luoghi, misurata in cielo, di $7^o\,^1/_6$, è in cifre rotonde uguale alla cinquantesima parte di tutta la circonferenza; e poichè Syene ed Alessandria distavano fra loro di 5000 stadi, così egli ne dedusse per la lunghezza di un circolo massimo terrestre $50 \times 5000 = 250.000$ stadi. Gli astronomi arabi Chalid ben Abdulmelik e Ali ben Isa, istituirono nell'anno 827 dopo C. una misura informandola a concetti analoghi a quelli moderni, e partendo da un punto scelto convenientemente si diressero, quanto più esattamente poterono, verso Nord e verso Sud, per lo spazio di un grado, osservando l'altezza meridiana del Sole. La distanza dei due punti estremi venne effettivamente misurata a mezzo di aste; essi trovarono per la lunghezza di un grado, 56 miglia e $^2/_3$ arabiche. Sarebbe molto interessante il poter paragonare in qualche modo questa prima vera misura di grado, eseguita con tutte le cure consentite dai tempi, coi risultati moderni; ma ciò non è possibile, giacchè nulla ci è pervenuto che ci possa dare la lunghezza autentica del miglio arabo. Negli scritti che parlano di quell'impresa è detto che il miglio vale 4000 cubiti, e il cubito si divideva in 8 pugni, il pugno in 4 dita, il dito in 6 grani d'orzo, il grano in 6 peli di mulo. Le ultime

unità di misura desunte dalla natura sono il solo mezzo col quale si possa ancora istituire un confronto; così da quella misura araba del grado noi troviamo che la circonferenza terrestre è all'incirca uguale a 2500 millioni di spessore di dito di 16 millimetri caduno; il quale ultimo dato si riferisce già ad un dito molto piccolo. Però si vede che gli Arabi non sono andati molto lontani dalla verità.

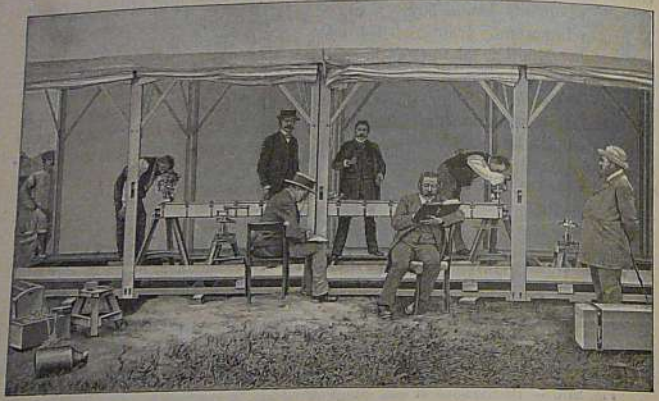


Fig. 216. — Misura di base sotto una tettoia.

Come è noto, misure tolte dalla natura, come il cubito, lo spessore delle dita, furono in uso fino a questi ultimi tempi; oggi ancora in molti paesi si parla di piedi, che vengono divisi in 12 pollici, la cui lunghezza dovrebbe corrispondere ad un dito. In tutto ciò si partì sempre dal principio, di voler rendere le misure indipendenti dall'arbitrio umano, e le stesse per tutta la Terra abitata dall'uomo. Questa misura era in realtà qualche cosa che non passa mai e la tradizione ci fornisce soltanto qualche concetto determinato di una tale lunghezza, come se essa fosse stata scelta affatto arbitrariamente e non ci fosse stato tramandato alcun esemplare di un tale campione di misura. Lo stesso è avvenuto cogli stadi dei Greci, intorno alla lunghezza dei quali nulla di certo sappiamo.

Sfortunatamente però gli esemplari originari tratti per quel sistema di misure dalla natura vivente sono molto variamente grandi; si fu quindi indotti ben presto a scegliere un'unità di misura fissa, ad esempio un piede normale, sopratutto anche per portare un po' d'ordine nelle transazioni commerciali. Ma in ciò le genti non s'accordarono subito, così che si originò una quantità di piedi e pollici, che resero sempre più difficile il commercio internazionale che andava di continuo estendendosi. Fu perciò un pensiero geniale quello di mettere da banda per sempre tutto quel sistema, e di scegliere una misura che non avesse più il suo tipo nella natura vivente, ma nel corpo il più invariabile, che noi possiamo ancora misurare direttamente, cioè nel nostro pianeta Terra. Il 18 Germinal dell'anno III,

corrispondente al 7 aprile 1795, la Convenzione francese, su proposta del cittadino Claudio Antonio Prieur, stabilì e dichiarò come unità di misura futura, la quarantamillionesima parte della circonferenza del meridiano, che passando per Parigi va da polo a polo attraversando l'equatore, e la chiamò il *metro*.

Si trattò quindi di esprimere a mezzo di unità di misura conosciute la lunghezza della quarantamillionesima parte di questo meridiano. Ciò avrebbe potuto farsi in modo abbastanza approssimato, quando le stanghe di misura adoperate nelle anteriori misure di grado, che nel frattempo si erano andate moltiplicando, fossero state conservate intatte. Ma questo importante documento ebbe contro di sè avverso il destino. Da gran tempo serviva in Francia come unità di misura una lastra di ferro, che era immurata nella parete di un vecchio fabbricato, il Grand Châtelet. Questa lastra aveva ai suoi estremi delle sporgenze, fra le quali doveva entrare convenientemente la stanga di misura da paragonarsi; la lunghezza corrispondente era detta *tesa*, e veniva divisa in sei piedi parigini. Ma l'uso e la ruggine andavano ognora più logorando quelle sporgenze. Ora, quando negli anni 1669-1670 Picard si decise ad eseguire in Francia una misura di grado, vennero poste delle nuove sporgenze a questa tesa del Châtelet, le quali erano fra loro di alcune linee più vicine delle antiche, con questa lunghezza indicata come la nuova tesa normale, venne eseguita la misura di grado.

Per assicurare alla posterità questa nuova misura normale, Picard ebbe la felice idea di confrontarla con una misura naturale, che, secondo egli pensava, si potesse in ogni tempo ricostituire: la lunghezza cioè del pendolo che batte i secondi. Abbiamo già detto che un'asta oscillante, sotto l'influenza della forza costante di gravità, compie le sue oscillazioni in intervalli di tempo assolutamente eguali (*a*), e che la grandezza di questi intervalli di tempo dipende immediatamente dalla lunghezza del pendolo. Ora poichè la durata di un minuto secondo può sempre essere determinata con grande esattezza a mezzo della rotazione della vôlta celeste, è sempre possibile anche il disporre della lunghezza del pendolo, in guisa che batta esattamente i secondi. Picard determinò sperimentalmente la lunghezza del pendolo semplice che batte in Parigi i minuti secondi e la espresse in parti della sua tesa normale; egli la trovò di 36 pollici, 8 linee e mezzo (*b*).

Bastava il tramandare alla posterità questo dato numerico, giacchè con esso si potrebbe ritrovare di nuovo la lunghezza della tesa normale, nel caso che essa andasse distrutta, poichè è sempre possibile ad ogni momento il rimisurare la lunghezza del pendolo che batte i secondi. Per abbondanza Picard fece allestire anche una stanga lunga quanto quel pendolo a secondi, e le due stanghe furono depositate all'Osservatorio di Parigi. Si sarebbe potuto congetturare che si provvederebbe con ogni cura alla conservazione di questi campioni, ma invece quando

---

(*a*) [L'*assolutamente* del testo non regge affatto: l'isocronismo del pendolo si verifica soltanto per un pendolo semplice, che oscilli nel vuoto, e le cui oscillazioni siano infinitamente piccole. Nei pendoli composti, quali sono quelli solitamente impiegati, bisogna tener conto di innumerevoli cause, non tutte note nè studiate, che alterano la durata delle oscillazioni. (O. Z. B.)].

(*b*) [L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* dà, per lunghezza della *tesa*, metri 1,94904; del *piede*, 0,32484; del pollice, 0,02707; della linea, millimetri 2,256. (O. Z. B.)].

più tardi, in occasione di un'altra misura di gradi, si cercò di essi, non li si poterono ritrovare, e d'altra parte era risultato che le misure del pendolo istituite da Picard riposavano sopra dati fondamentali malsicuri, e che molte regole di precauzione erano state trascurate assieme alla determinazione di certe necessarie correzioni. Così anche la misura del grado di Picard non si poteva più paragonare coi più recenti risultati, poichè le sporgenze della tesa del Châtelet si erano incurvate. Inoltre le misure di grado che nel frattempo erano venute distendendosi sulla Francia da Nord a Sud e da Est ad Ovest, avevano condotto al curioso risultato che un grado di meridiano nel mezzodì della Francia era maggiore di quello trovato nel settentrione. Da ciò sarebbe seguìto che la Terra non era per nulla una sfera perfetta, ma bensì allungata verso i poli; ciò era però da riguardarsi come molto improbabile, e perciò con molta ragione si congetturò che in queste misure di gradi fossero incorsi degli errori considerevoli (*a*).

Senza indugio si decise di istituire altre determinazioni, e vennero allestite a questo scopo due spedizioni, delle quali l'una doveva operare nelle regioni equatoriali e l'altra in Lapponia, onde poter per la prima volta esaminare con salde basi la questione della vera forma della Terra, e quindi del suo schiacciamento ai poli. Furono preparate due nuove copie della tesa del Châtelet, e ne fu consegnata una a ciascuna delle spedizioni. Ma molto imprudentemente di nuovo, non ne fu apparecchiata una terza copia, che dovesse essere conservata in Parigi. Entrambe le misure di gradi furono eseguite con ogni cura; quella di Lapponia, ebbe in particolar modo a sormontare difficoltà notevoli; la base fu colà misurata sul ghiaccio del fiume Tornea a mezzo della così denominata tesa del Nord. Quando poi dopo parecchi anni di lavoro s'intraprese il viaggio di ritorno, la nave, che portava la preziosa stanga di misura originale, fece naufragio nel golfo di Botnia; la stanga potè essere estratta dall'acqua del mare, soltanto dopo esservi stata a lungo immersa, e divenuta completamente irrugginita. Così era divenuto impossibile un secondo confronto fra la tesa del Nord e quella del Perù, e non si potè più constatare se e quanto le due misure originarie avessero variato nel prolungato lavoro. Neppure la tesa del Perù venne subito a Parigi, ma fu parecchie volte adoperata in America a varie altre misure, finchè, dieci anni dopo l'esecuzione della misura di grado del 1748, ritornò in Europa. Ma neanche ivi fu essa da principio conservata colle necessarie cautele. Solo nel 1756 si rimisero a giorno le tre stanghe di misura ancora rimaste da quel tempo memorabile, cioè questa tesa del Perù, la tesa del Nord, ristaurata il meglio che si potè; ed una terza che fu trovata in possesso di un privato, ma che si constatò essere una copia fedele di quell'epoca; al paragone esse risultarono di diversa lunghezza. Benchè si trattasse di differenze soltanto di $^1/_9$ di linea parigina, tuttavia l'intiera circonferenza terrestre che fu misurata con queste stanghe, risultò, in cifre rotonde, 10 km., in più od in meno, a seconda che nel calcolo s'introduceva l'una o l'altra

(*a*) [Chi sia desideroso di più ampia istruzione su questo punto di storia della Geodesia, può consultare lo scritto di Ottavio Zanotti Bianco intitolato: *La forma e la grandezza della Terra nello stato presente delle conoscenze umane* (*Pensiero Italiano*, vol. II. 1891, e riprodotto nel vol. IX della *Rivista di Topografia e Catasto*, Torino 1896, stampato anche separatamente. (O. Z. B.)].

di queste stanghe. Ora poichè, come vedremo più tardi, il diametro terrestre deve a sua volta servire di base ad altri triangoli, i cui vertici stanno negli altri corpi celesti, così un'incertezza così grande sulla vera lunghezza di questa nuova base non è tollerabile; non rimase quindi altro a fare che istituire una nuova misura di grado. Si riguardò la tesa del Perù come conveniente a ciò, ne furono preparate 80 copie che furono distribuite ai vari uffici del paese. Quanto però anche in questo ciò si sia proceduto senza precauzioni, appare manifesto dal fatto che oggi esistono ancora soltanto due di quelle copie: una sta in Parigi, l'altra in possesso dell'Università di Kiel.

In causa dell'incertezza esistente sul rapporto della lunghezza della tesa del Perù alla circonferenza di un meridiano, non fu possibile di assegnare, a seconda della deliberazione della Convenzione nazionale, la vera lunghezza al metro espri-mendola in parti di questa tesa o di qualsiasi altra stanga di misura, anche quando si fosse riguardata la misura del grado istituita con essa, come ammissibile. Benchè si fosse decisi ad istituire una nuova misura di grado, tuttavia non se ne volle attendere il risultato per introdurre subito l'unità *metro;* si stabilì quindi di riguardare come *metro provvisorio* la lunghezza di 443,44 linee della tesa del Perù, che in tutto ne comprendeva 864; col che si credette manifestamente di essersi assai accostati alla verità (*a*). Ma quando nel 1806, Méchaine e Délambre ebbero condotto a termine la nuova misura di grado deliberata nel 1792 dall'Assemblea nazionale, e che abbracciava un arco di meridiano di circa 12 gradi e mezzo, risultò che, secondo la data definizione, un metro era uguale e 443,295936 linee della tesa del Perù alla temperatura di 13 gradi Réaumur. Così fu chiarito che nella prima lunghezza si era sbagliato di $^1/_{10}$ di linea. D'allora in poi fu per sempre fissata come lunghezza definitiva del metro quella di 443,296 linee, che deve rimanere invariata come il *metro della Convenzione*. Oggi si sa che, secondo la sua definizione originaria, esso diversifica ancora sempre di $^1/_{25}$ di linea parigina dal valore del metro assoluto (*b*), e che è di questo più certo appunto di quella quantità.

Dopo che per la determinazione di una misura fondamentale fu spesa una così ingente quantità di lavoro, d'ingegno e di denaro, si pensò finalmente alla sicura conservazione di quella stanga dall'aspetto così insignificante, ma che incorporava in sè tutta quella somma di energia e di scienza. Si allestirono molte copie del metro della Convenzione, componendole con una lega di platino e di iridio che risultò essere particolarmente resistente, e se ne mandò una ad ogni Ufficio di pesi e misure presso le varie Nazioni. Una di quelle copie, che deve servire come vera misura di campione, è custodita in un sotterraneo del *Bureau international des poids et mesures* à Breteuil presso Parigi, gelosamente come un tesoro prezioso, quale si è veramente; ad essa si accede soltanto in presenza

---

(*a*) [Per considerazioni sul metro si può consultare lo scritto intitolato: *Il metro, il chilogrammo, il minuto secondo*, in *Nuova Antologia*, agosto 1894, e ristampato nel libro: *In Cielo*, di Ottavio Zanotti Bianco. Torino, Bocca. 1897. (O. Z. B.)].

(*b*) [La frase *metro assoluto* è alquanto meno precisa; il *metro* non può dirsi assoluto, come vedremo in altra nota, dopo che nel testo si sarà letto quanto riguarda le misure di archi di meridiano e parallelo. (O. Z. B.)].

di un determinato numero di delegati della Commissione internazionale di pesi e misure.

In tal guisa ci si era dipartiti dalla misura naturale, alla quale è ben difficile che si debba mai più ritornare. Quando a suo tempo si passò dalle misure tolte alla natura organica a quelle dedotte dalla natura inorganica, allo scopo di ottenere unità, si era guidati dal concetto di raggiungere una unità di misura che si potesse sempre sottoporre a disamina e controllo. Senza dubbio nella natura inorganica si sarebbero potuti trovare molti altri rapporti e relazioni, che avrebbero soddisfatto meglio a quella esigenza che non il metro, secondo la sua primitiva definizione; ad esempio, la lunghezza del pendolo che batte i secondi in un determinato luogo, avrebbe potuto essere molto più facilmente e sicuramente determinata che la diecimilionesima parte del quadrante meridiano. Ed ancora, sarebbe stato possibile il trovare delle unità di misura indipendenti da tutte le relazioni terrestri ed indipendenti dalla grandezza, gravità e rotazione terrestre (misura del tempo), e che quindi, prese puramente in teoria, avrebbero potuto servire alla verifica dell'invariabilità di queste quantità stesse. A tali unità di misura appartengono, ad esempio, le vibrazioni dell'etere, a mezzo delle quali ci è trasmessa la luce. La distanza di due linee di uno spettro non può venire alterata da influenze terrestri.

Fig. 217. — Federico Guglielmo Bessel, nato in Minden nel 1784, morto a Königsberg nel 1846. (Da un'incisione in rame).

Ma da tali misure naturali si passerebbe di nuovo regolarmente a misure convenzionali, giacchè le misure che vengono istituite sulle grandezze naturali, rimangono sempre indietro per esattezza rispetto ai confronti coi quali si determina la reciproca grandezza di misure e pesi esistenti. Supponiamo, ad esempio, il caso che a mezzo di una esauriente misura di gradi si sia fra qualche secolo determinata

una nuova unità metrica, e che il rapporto di essa al metro della Convenzione tramandato fino a quel giorno risulti alquanto diverso da quello che corrisponde al progredito stato della scienza in quei giorni; allora bisognerà scegliere fra i tre casi possibili che si presentano: o può essersi commesso un errore nella misura del grado, ovvero la grandezza della Terra può essere realmente cambiata; ovvero per ultimo il confronto fra i due metri può essere stato eseguito malamente. Nello stato in cui le cose stanno oggidì, e nell'ipotesi che in tutte le operazioni relative a quelle misure la precisione tenuta sia stata la massima raggiungibile, non si dubiterebbe neppure per un istante, che l'errore del paragone diretto delle misure non debba svanire in confronto di quello della misura di grado, e che quindi, quando anche la misura del grado non possa essere di tanto errata, quanto appare dalla differenza che si cerca di spiegare, rimane come unica cagione di tale differenza un cambiamento delle dimensioni stesse della Terra. Pertanto la nostra unità non dovrebbe venir corretta, come se ne aveva intenzione in principio di fare a mezzo di quelle operazioni; ma potrebbe come la realizzazione dell'indistruttibile ed immutabile più sicuro venire contrapposta a tutto il globo terrestre, il che però sarebbe solo possibile nella nostra epoca presente dell'arte di misurare con precisione.

Frattanto i lavori per la misura di gradi si sono venuti costantemente sviluppando. Essi toccano il loro punto culminante, come già si disse, nella grandiosa intrapresa della misura del grado in Europa, che fu promossa nell'anno 1618 dal generale prussiano Baeyer, ma che non è ancora compiuta oggidì. Questa misura di gradi in Europa non abbraccia meno di 69 gradi in longitudine e di 38 in latitudine. In alcune parti si dovettero misurare dei triangoli di dimensioni grandissime sopra regioni del Mare Mediterraneo, scambiando i segnali fra i vertici dei triangoli, col mandare dall'uno all'altro i raggi solari, a mezzo di certi apparecchi a riflessione, detti eliostati, giacchè quei vertici non avrebbero più potuto essere scorti nei cannocchiali. Tutta l'impresa è da riguardarsi come una delle più grandiose e comprensive opere scientifiche che l'umanità abbia mai intraprese.

Tutte le misure d'arco istituite prima che si iniziasse quell'intrapresa furono a suo tempo riunite in un comune risultato da Bessel (vedi fig. 217). Secondo questi, un quadrante di meridiano, cioè l'arco che corre dall'equatore al polo, comprende 10.000.855,$_{76}$ metri della Convenzione, cioè quasi un chilometro di più di quanto corrisponderebbe al concetto fondamentale. Per contro poi risulta che un arco di meridiano all'equatore è lungo metri 110.563,$_{68}$, ed al polo 111.679,$_{90}$. Quindi ai poli gli archi di meridiano sono notevolmente più lunghi. Da ciò risulta che la Terra deve essere schiacciata ai poli. Dal valore sopra riferito per il meridiano terrestre, segue che la distanza dal polo Nord al polo Sud, misurata passando per il centro della Terra, è di una 299,$_{1528}^{ma}$ parte della sua lunghezza più breve che la distanza fra due punti dell'equatore, misurata ancora passando per il centro della Terra. A mezzo delle dimensioni terrestri calcolate da Bessel, si ottiene facilmente che la distanza di un polo dal centro della Terra è uguale a 6.356.078,$_{96}$ metri; quella di un punto dell'equatore dal centro medesimo è uguale a metri 6.377.397,$_{15}$. Questa è quindi maggiore della prima di chilometri 21 ed $^1/_{20}$

Quindi, secondo Bessel, la Terra è un'ellissoide di rotazione, cioè un corpo che è generato dalla rotazione di un'ellisse intorno al suo asse minore (*a*). In natura si può produrre un corpo di questa forma facendo girare sopra se stessa una massa fluida od anche una massa elastica flessibile. Una tal massa, abbandonata liberamente a se stessa, assumerebbe la forma sferica, come una goccia librata nell'aria; e quella sfera verrà schiacciandosi ognor più, quanto più rapidamente la si farà ruotare sopra se stessa. Si può teoricamente dimostrare che un corpo delle dimensioni della Terra, quand'anche le masse, che lo costituiscono, avessero il grado di rigidità dimostrato dalla crosta terrestre, dovrebbe, se dallo stato di riposo passasse a quello di rotazione sopra se stesso, assumere la figura di un tale ellissoide, o che, reciprocamente, se cessasse di ruotare dovrebbe assumere la forma sferica.

Lo schiacciamento osservato della Terra dovrebbe pertanto essere una dimostrazione sufficiente della rotazione della Terra stessa attorno al suo asse polare, anche quando non ci fosse dato di dedurre questo movimento della Terra dal moto diurno della vôlta celeste. Fino a questo punto noi avevamo sempre ancora la scelta *a priori* fra due supposizioni: attorno alla Terra gira una vôlta celeste solida che la avvolge d'ogni parte, e compie giornalmente una rotazione da Est ad Ovest attorno all'asse del mondo che corre fra i due poli? oppure si è la Terra stessa, e noi con essa, che gira nel tempo medesimo da Ovest verso Est? In quest'ultimo caso noi siamo liberati dall'ipotesi di una vôlta celeste solida, quale era ammessa da quelli che avevano formulato, seguendo senz'altro l'apparenza, gli antichi sistemi del mondo; e possiamo porre le stelle a distanze dalla Terra affatto arbitrarie e variabili; il che risulterà come necessario da misure delle quali discorreremo più avanti. Lo schiacciamento trovato decide fra le due ipotesi in favore del moto del nostro globo terrestre (*b*).

Quante siano le difficoltà che si dovettero superare per giungere a questo risultato appare da quanto precede. Per contro si hanno molte dimostrazioni sperimentali evidenti del moto della Terra; fra esse la più sorprendente è quella del pendolo di Foucault. Se si appende un pendolo in guisa che esso possa liberamente oscillare in ogni senso; messo che esso sia una volta in movimento, il suo piano di oscillazione si mantiene costante; ed in realtà non vi è alcuna ragione

(*a*) [Bessel determinò la figura dell'ellissoide di rivoluzione che corrispondeva meglio a tutte le misure di arco di meridiano istituite fino ai suoi giorni, partendo dall'ipotesi che la figura della Terra dovesse appunto essere quella di un'ellissoide di rivoluzione attorno al suo asse minore. Ma che così dovesse essere fu dimostrato primieramente da Newton e Huygens, e fu confermato dipoi dai lavori di Clairant e Laplace, e dal risultato della spedizione di Richer. A questo riguardo si può consultare il già citato lavoro di Ottavio Zanotti Bianco sulla forma e grandezza della Terra. (O. Z. B.)].

(*b*) [Non è soltanto lo schiacciamento che fece riconoscere che è la Terra che si muove, e non la vôlta celeste, ma molte altre considerazioni. Che non potesse esistere una vôlta solida celeste portante le stelle e roteante attorno alla Terra apparve dalla semplice considerazioen dell'enorme velocità e grandezza che si doveva pure ammettere in quella vôlta solida, se doveva in 24 ore girare attorno alla Terra. Gli studi poi di Keplero sulle comete, che dimostrarono come questi astri potessero comunque allontanarsi dalla Terra, resero materialmente chiarist l'insussistenza di quella vôlta cristallina, come la volevano gli antichi che l'avevano immaginata. (O. Z. B.)].

perchè quel piano debba cambiare. Per convincersi di ciò coll'esperienza, basta disporre sopra un disco girevole un telaio, dal punto più alto del quale scenda un pendolo libero di muoversi in ogni senso; si ponga il pendolo in oscillazione, facendo contemporaneamente girare il disco; in tal molto tutti i diametri del disco verranno successivamente a coincidere col piano d'oscillazione invariabile del pendolo. Ora, in una condizione analoga si trova un pendolo, che si immagini sospeso precisamente sopra uno dei poli terrestri; il centro del disco corrisponde a questo polo, ed i suoi diametri alle sezioni meridiane terrestri che concorrono nel polo. Se sopra uno di questi meridiani è collocato un osservatore, che dal movimento di rotazione della Terra viene portato in giro attorno al polo da Ovest verso Est, allora egli dovrà vedere il pendolo, che mantiene la sua direzione fissa non rispetto alla superficie della Terra ma ad un dato piano nello spazio, deviare da Est verso Ovest. Se al principio dell'esperimento il pendolo si muoveva in direzione di una data stella del firmamento, il movimento continuerà a farsi in quella direzione; in conseguenza di ciò, nel corso di 24 ore esso percorre tutti i gradi azimutali dell'orizzonte. Il movimento della Terra potrebbe ai poli venir reso manifesto nel modo più evidente a mezzo del pendolo di Foucault.

In modo ben diverso si comporta quell'istrumento in un punto dell'equatore. Facciamolo ivi oscillare dapprima nella direzione da Ovest ad Est, così il piano d'oscillazione rimane costantemente parallelo alla direzione del moto di rotazione della Terra, mentre il pendolo può soltanto attestare un cambiamento di questa direzione. Quindi non cambia la sua posizione rispetto all'orizzonte. Lo stesso avviene evidentemente quando noi facciamo oscillare il pendolo perpendicolarmente all'equatore, cioè nella direzione da polo a polo, giacchè, come già vedemmo, i poli celesti hanno una posizione invariabile rispetto all'orizzonte. Ora, poichè il pendolo mantiene fin dove è possibile invariata la sua posizione rispetto ad un piano fisso, e la giacitura di questo piano è secondo i poli celesti, così qui il pendolo non può cambiare la sua posizione rispetto alla superficie terrestre: quindi all'equatore il pendolo non mostra alcuna deviazione, qualunque sia il senso secondo cui lo si fa oscillare. Per le latitudini intermedie si verificano pure condizioni intermedie, che la teoria insegna a calcolare esattamente. Foucault fu il primo che confermò questi risultati della teoria a mezzo di un esempio pratico su grande scala (*a*).

In tali ricerche fu necessario impiegare un pendolo molto lungo e pesante, onde evitare, per quanto era possibile, ogni perturbazione, ed anche per conservare il pendolo in oscillazione durante delle ore, giacchè, come si comprende facilmente, non si potevano ad esso comunicare nuovi impulsi, come ai pendoli degli orologi, giacchè quelli avrebbero necessariamente esercitato un'influenza sulla sua direzione. Quindi, data la indispensabile lunghezza del pendolo, le esperienze si poterono istituire soltanto in ambienti molto alti. Nel 1851, quando quelle esperienze vennero eseguite per la prima volta, lo furono nel Pantheon di Parigi (vedi fig. 218). Dalla cupola di quella grandiosa costruzione si fece scendere un

(*a*) [Dopo la bella esperienza di Foucault, eseguita nel Pantheon a Parigi nel 1851, il marchese Antinori pubblicò una nota manoscritta di Viviani, dalla quale risulta che gli Accademici del Cimento in Firenze avevano, verso il 1660, osservato lo spostamento del piano d'oscillazione del pendolo. Ma ignoravano la causa di questo spostamento. (O. Z. B.)].

pendolo di 27 metri di lunghezza, con una sfera del peso di 28 kg. Esso fu allontanato dalla sua posizione di riposo, ed assicurato a fianco di questa a mezzo di un filo. Attorno all'estremo inferiore del pendolo era disposto circolarmente un mucchietto di sabbia. Bruciando il filo che teneva fermo il pendolo si poneva questo in oscillazione, e durante questa l'estremo inferiore attraversava il mucchietto di sabbia. L'arco di oscillazione percorso dal pendolo in 8 secondi misurava 20 piedi. La deviazione del pendolo dalla sua direzione iniziale, che si osservò dopo pochi minuti, corrispose completamente al calcolo preventivo.

Fig. 218. — Esperimento di Foucault, col pendolo, nel Pantheon in Parigi.

Una ripetizione di questo esperimento, notevole per importanza storica, fu fatta dal dotto P. Secchi pubblicamente nella chiesa di S. Ignazio in Roma. 200 anni dopo che Galilei, in un'altra chiesa della stessa città, aveva, davanti pure al popolo adunato, abiurato il movimento della Terra, come un'odiosa eresia, doveva un prete addurre quell'irrefragabile prova della verità delle dottrine copernicane, che ancora allora si trovavano all'indice. La piccola tabella qui sotto riportata contiene le deviazioni orarie del pendolo osservate in alcuni luoghi in tali esperimenti, confrontate con quelle calcolate. Nella seconda colonna intestata φ sono date le latitudini geografiche di quei luoghi. Oggidì il progresso della meccanica di precisione permette di eseguire con successo l'esperimento con pendoli molto più corti, lunghi circa 5 metri; quasi ogni gabinetto di fisica possiede un tal pendolo di Foucault (*a*).

(*a*) [Avvertasi che quest'ultima proposizione si riferisce alla Germania, non all'Italia. (O. Z. B.)].

Prospetto dei risultati di alcuni esperimenti col pendolo di Foucault.

Luogo	φ	Deviazione		Osservatore
		Calcolata	Osservata	
Polo Nord	90,0°	15,00°	—	—
Dublino	53,4	12,04	11,90	Galbraith
Colonia	50,9	11,65	11,84	Garthe
Ginevra	46,2	10,83	10,18	Dufour
Roma	41,9	10,02	9,90	Secchi
New York	40,7	9,78	9,23	Lyman
Ceylan	6,9	1,81	1,87	Lamprey
Equatore	0,0	0,00	—	—
Rio	— 22,9	5,84	5,17	D'Oleveira
Polo Sud	— 90,0	15,00	—	—

La caduta dei corpi pesanti da grandi altezze ci esibisce un altro esperimento a dimostrazione della rotazione della Terra, che però non riesce certamente con uguale sicurezza di quello delle oscillazioni del pendolo. La sommità di una torre è più lontana dal centro della Terra del piede di essa, e deve pertanto, durante il moto di rotazione terrestre, percorrere un cerchio più lungo di quello percorso dal piede stesso. Pertanto se dalla sommità di una torre si lascia cadere un oggetto, questo, durante la caduta, conserva quella maggiore celerità di movimento: esso deve quindi rivelare la sua accelerazione rispetto al piede, cadendo ad oriente di questo, cioè nella direzione del movimento della Terra: il piede naturalmente sta verticalmente sotto il punto nel quale s'iniziò la caduta (vedi la figura 219). La grandezza della deviazione orientale del punto di caduta si può facilmente calcolare per ogni altezza. Così, ad esempio, in un esperimento eseguito da Reich nel Dreibrüderschachte (Pozzo di miniera dei Tre Fratelli) presso Freiberg, la deviazione fu di linee 12,6, per un'altezza di caduta di 488 piedi, in buon accordo colla teoria. Però non sempre si ottennero, in cotali esperimenti, risultati egualmente soddisfacenti; giacchè è molto difficile l'evitare le azioni perturbatrici, ed in particolare si dovette smettere di istituire, come altra volta si faceva, quegli esperimenti sopra torri, giacchè il movimento dell'aria esercitava un'influenza troppo grande.

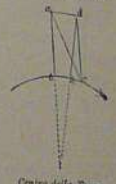


Fig. 219. — Deviazione della direzione di caduta dalla verticale.

La velocità del movimento di rotazione della Terra viene, per contro, determinata, al pari dello schiacciamento di essa, a mezzo delle osservazioni del pendolo semplice. Come abbiamo già detto, questo strumento è fra i più esatti adoperati dagli astronomi; a mezzo di esso si può particolarmente determinare nel modo più preciso la grandezza della forza di gravità. Teoricamente si può dimostrare che la forza di gravità di un corpo della grandezza della Terra, deve alla superficie di essa, come a maggiori distanze da essa, essere uguale a quella che si veri-

ficherebbe quando tutta la sua massa fosse riunita al centro (*a*). Questa è una di quelle necessità teoriche che si possono trovare coll'aiuto della sola matematica, senza ricorrere a dati forniti dall'esperienza. Che la massa terrestre eserciti generalmente una forza d'attrazione è provato da ogni pietra che cade, e che poi questa forza d'attrazione debba ad un dipresso essere diretta verso il centro della Terra, risulta da ciò che la direzione dei gravi cadenti è ovunque normale alla superficie sferica terrestre. È un fatto che una pietra, che ai nostri antipodi cade al suolo, ha colà una direzione normale al nostro orizzonte e per noi rivolta all'insù, e ciò riesce assai difficile ad ammettersi dall'intelligenza ingenua e primitiva, che difficilmente sa collocarsi in un punto di vista cosmico, e riconoscere che la Terra è liberamente librata nello spazio.

Se ora la Terra fosse perfettamente sferica, regolarmente stratificata nell'interno, o se non ruotasse sopra se stessa, allora evidentemente la forza di gravità e quindi anche la lunghezza del pendolo semplice che batte i secondi dovrebbe essere la stessa in ogni punto della superficie terrestre; ciò ben inteso astraendo dalle asperità topografiche, le quali cagionano differenze relativamente tenui di distanza dal centro della Terra. In realtà invece si constata che la lunghezza del pendolo varia regolarmente colla latitudine geografica dei luoghi nei quali essa viene misurata, e precisamente se si vuole che un pendolo batta sempre i secondi bisogna accorciarlo tanto più, quanto più ci si va accostando all'equatore.

Il francese Richer fu il primo che, a sua grande stupefazione, fece questa constatazione, e si fu quando nel 1672 egli venne inviato a Cajenna per eseguirvi colà contemporaneamente agli astronomi di Parigi delle osservazioni meridiane, esatte quanto era possibile del pianeta Marte, le quali, come vedremo più tardi, dovevano servire a determinare la distanza fra quel pianeta e la Terra. Egli aveva portato seco uno dei migliori orologi che allora si costruissero, che in Parigi dava esattamente il tempo, così che il suo pendolo compiva giornalmente 86.400 oscillazioni; giunto a Cajenna l'orologio ritardò improvvisamente di due minuti e mezzo, il pendolo batteva quindi 150 oscillazioni di meno che in Parigi. Egli dovette accorciarlo di un quarto di linea parigina, affinchè fra due passaggi successivi di una medesima stella al meridiano compisse di nuovo 86.400 oscillazioni. A tutta prima egli non riuscì a spiegarsi quel fatto, ma si meravigliò ancora più altamente, quando ritornato a Parigi col suo orologio, trovò che ivi avanzava di due minuti e mezzo, così che, per ottenere che il suo pendolo battesse di nuovo i secondi, dovette ridonargli la primitiva lunghezza. Newton ed

---

(*a*) [Il solo libro italiano che tratti di queste materie, relative alla teorie matematiche della forma, grandezza, densità ed attrazione della Terra, è il seguente: *Il problema meccanico della figura della Terra esposto secondo i migliori autori*, di Ottavio Zanotti Bianco. Parte Prima, Torino 1880. Parte Seconda, Torino 1885. La Parte Prima contiene i seguenti capitoli: I. Potenziale di una massa attraente sopra un punto esterno ad essa. — II. Potenziale di una massa sopra un punto interno ad essa. — III. Attrazione degli ellissoidi. — IV. Metodo di Chasles per l'attrazione degli ellissoidi. — V. Delle funzioni sferiche. — VI. Delle funzioni di Laplace. — VII. Attrazione degli sferoidi. — VIII. Dell'attrazione di altipiani, monti, oceani, ecc. La Parte Seconda tratta della figura d'equilibrio delle masse fluide rotanti e dei metodi per la determinazione della densità della Terra. Questo libro si può avere direttamente dall'Unione Tipografico-Editrice, Torino.

(O. Z. B.)].

Huygens furono i primi che trovarono la ragione di quella variazione. A produrre la variazione della lunghezza del pendolo a secondi colla latitudine contribuiscono due cause. La rotazione della Terra mette in azione quella forza che è detta forza centrifuga, e produce lo stesso fenomeno della sfera che rende teso il filo al quale sta attaccata ed è fatta girare, come nella fionda. Il modo di agire di questa forza si può ancora, a mezzo della teoria, indicare e prevedere; esso dipende dalla velocità angolare del corpo rotante e dalla sua distanza dal centro di rotazione.

A cagione del movimento di rotazione della Terra ogni corpo all'equatore percorre in un minuto secondo 464 metri; in causa di questa velocità un corpo libero si staccherebbe senz'altro dalla superficie terrestre, se non vi fosse trattenuto dall'azione preponderante della forza di gravità, azione che naturalmente viene indebolita dalla forza centrifuga. Quanto più ci accostiamo al polo, tanto più vanno accorciandosi i circoli di latitudine che i punti della Terra percorrono nell'intervallo di 24 ore; la forza centrifuga deve quindi anche affievolirsi tanto maggiormente quanto più ci accostiamo ai poli, per divenire nulla in questi, che durante la rotazione rimangono fermi. Ma le lunghezze del pendolo osservate sotto differenti latitudini non si possono spiegare soltanto a mezzo di una Terra sferica che ruoti sopra se stessa in 24 ore; noi dobbiamo ammettere uno schiacciamento che per un lato faccia aumentare la circonferenza dei circoli di latitudine in una ragione diversa da quella corrispondente ad una Terra sferica, e dall'altro a mezzo delle differenti distanze a cui quei cerchi stanno sulla superficie terrestre dal centro di essa, si generi del pari una diversa intensità della gravità. Noi impareremo ben presto che la gravità, come qualunque azione emanante da un punto, varia in ragione inversa del quadrato della distanza da questo punto; quindi anche per questa ragione ogni corpo deve pesare di più ai poli che all'equatore. Una tonnellata (1000 kg.) pesata esattamente all'equatore, trasportata ai poli vi sarebbe pesante di circa 3 kg. di più; soltanto però, quando venisse pesata con una bilancia a molla. Per quanto quest'aumento della gravità sembri insignificante, tuttavia il pendolo permette di constatare differenze ben più minute. La differenza della gravità tra l'equatore (Cayenne) e la latitudine di Parigi fa variare il numero delle oscillazioni del pendolo che batte i secondi in quei due luoghi di circa 150 al giorno; mentre oggi a mezzo di osservazioni al meridiano si possono controllare i dati di tempo di un orologio, che non sono altro che il numero delle oscillazioni del suo pendolo fino ad una centesima parte di un'oscillazione.

A motivo della grande importanza che la determinazione della gravità esatta quanto è possibile, ha per molte questioni d'astronomia, nello studio delle oscillazioni del pendolo per questo scopo si è andati molto più avanti che nelle misure del tempo. Prima di tutto si fa oscillare il pendolo destinato alla misura della gravità, del tutto liberamente, cioè non lo si collega con alcun orologio od altro apparecchio contatore, che potrebbe avere un'influenza perturbatrice. Un pendolo costruito per questo scopo oscilla durante parecchie ore anche in uno spazio ripieno d'aria senza una spinta che ve lo solleciti, senza che il suo arco di oscillazione diminnisca di molto in lunghezza. Nei primi tempi si annoveravano direttamente le oscillazioni: oggi invece si applica il così detto metodo delle coincidenze. Si colloca il pendolo davanti ad un orologio astronomico, in guisa che si possano ad un tempo osservare anche di esso le oscillazioni. Poichè i due

pendoli non oscillano mai in modo perfettamente uguale, così le loro fasi d'oscillazioni andranno variando l'una rispetto all'altra. A mezzo di un cannocchiale si osserva l'istante nel quale le due piccole lenti dei pendoli si coprono; questi ultimi oscillano allora assieme, e si attende il prossimo ritorno di una tale coincidenza; nell'intervallo fra due occultazioni successive del pendolo posteriore, per opera dell'anteriore, un pendolo ha fatto precisamente un'oscillazione più dell'altro. Ora, poichè il numero delle oscillazioni del pendolo dell'orologio è dato direttamente dall'orologio stesso, così, a mezzo di queste e della precedente osservazione, si ha subito anche il numero di quelle compite dal pendolo che oscilla liberamente.

Il numero delle oscillazioni trovato a quel modo non corrisponde intieramente a quello che sarebbe compiuto da un pendolo ideale secondo la teoria, pendolo che però praticamente non si può costrurre. La teoria pura naturalmente considera sempre astrazioni, non realizzabili nella pratica: così in questo caso essa, ad esempio, deve supporre un pendolo costituito da un filo senza peso, al quale è appeso un punto senza dimensioni, ma pur tuttavia pesante. Tale è la definizione del pendolo semplice matematico, al quale si debbono riferire tutti i calcoli teorici; il pendolo fisico adoperato in pratica, invece, consiste di un'asta metallica portante all'estremo inferiore una lente pesante, così che il centro di gravità del pendolo non è situato simmetricamente rispetto alla sua figura. La lunghezza del pendolo fisico che si osserva deve quindi venire ridotta a quella di un pendolo matematico, e questa riduzione è diversa a seconda della forma del pendolo fisico stesso. Al principio di questo secolo, Bohnenberger aveva già trovato teoricamente che questa riduzione dipende soltanto dalla distanza fra il centro di gravità del pendolo fisico ed il suo punto di sospensione. Il capitano Kater ebbe l'idea felicissima di costrurre un pendolo perfettamente simmetrico, che sia fornito di due lenti eguali e di due appoggi di sospensione, in forma di due sottili tagli di coltello, disposti sì le une che gli altri ad eguali distanze dal punto di mezzo della sua asta ed alle sue estremità. Questo pendolo (che fu chiamato *pendolo ad inversione o convertibile*), si può alternativamente far oscillare sull'uno o sull'altro coltello. La teoria esige che il numero delle oscillazioni debba, nei due casi, essere lo stesso, quando la riduzione dal pendolo fisico a quello matematico diviene eguale a zero. Ciò si può praticamente ottenere con una delle lenti, spostandola lungo l'asta, finchè l'osservazione dia la desiderata eguaglianza del numero delle oscillazioni. La distanza fra i due coltelli è quindi eguale alla lunghezza del pendolo matematico per questo numero di oscillazioni. Per poter poi paragonare le osservazioni del pendolo istituite nelle varie regioni della Terra fra loro e con una medesima misura invariabile, si deve confrontare quella lunghezza con un comparatore in un ufficio di pesi e misure, onde esprimerla poi in parti del metro della Convenzione. Noi vediamo qui di nuovo quale importanza veramente grandissima abbia la conservazione di una tale misura normale durante secoli, giacchè essa ne porge il solo mezzo col quale noi possiamo determinare se la gravità terrestre, fino ad oggi la più invariabile di tutte le costanti, che si sia osservata in natura, rimanga invariabile ancora per migliaia d'anni.

Oltre alla riduzione del pendolo fisico a quello matematico, occorre naturalmente ancora considerare e tener conto di tutte le correzioni e riduzioni, che

noi abbiamo già visto più sopra, essere necessarie per i pendoli degli orologi. Nel nostro caso attuale non occorre che l'influenza della temperatura sulla lunghezza del pendolo sia eliminata quanto è possibile a mezzo della compensazione. Il pendolo geodetico, cioè quello impiegato alla misura della gravità (*a*), oscilla sempre soltanto durante un tempo relativamente breve, così che la temperatura dell'ambiente può rimanere ad un dipresso costante durante esso. Perciò l'asta del pendolo viene fatta nel modo più semplice e di un metallo capace di resistere alla flessione, cioè di acciaio, e si determina quindi il coefficiente di dilatazione dell'asta stessa entro i limiti di temperatura che si possono presentare, col comparatore dell'ufficio di pesi e misure. Così è possibile ridurre ad una temperatura fissa, ad esempio 0 gradi, tutte le lunghezze pendolari determinate coll'osservazione a temperature differenti. È molto più difficile il determinare la resistenza dell'aria, fino a quel punto di precisione che è richiesto dalla misura dell'intensità della gravità. Nel pendolo dell'orologio si hanno da considerare solamente le differenze di pressione atmosferica, mentre, per le misure assolute della gravità, occorre sapere quante oscillazioni in più sarebbero compiute dal pendolo se invece di oscillare nell'aria, oscillasse in uno spazio vuoto. Il calcolo ha dimostrato che, in un giorno, un pendolo oscillante nell'aria batte nove oscillazioni in meno di quelle che batterebbe se l'aria non esistesse: questo risultato del calcolo è confermato dalle osservazioni che ai suoi giorni Sabine ha istituito sopra un pendolo nell'aria ordinaria, quindi in un'atmosfera d'idrogeno e per ultimo in uno spazio privo, quanto è possibile, d'aria. Nel 1881 l'americano Peirce ha scoperto una sorgente d'errore molto sensibile, che doveva infermare l'esattezza di tutte le ricerche pendolari istituite fino a quel giorno. Si constatò cioè che il sostegno a trepiede che regge un punto d'oscillazione fisso, partecipa alle oscillazioni del corpo che si muove attorno a quello, anche quando è apparentemente

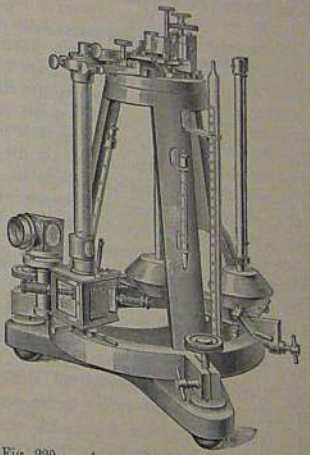


Fig. 220. — Apparecchio pendolare di Sterneck per la misura della gravità terrestre.

(*a*) [La *Geodesia* è quel ramo delle scienze matematiche naturali che si occupa della determinazione della forma e grandezza della Terra. Fra i mezzi che essa impiega per giungere alla conoscenza della *forma* o *figura* della Terra, sta quello di sottoporre a calcolo, a mezzo di un famoso teorema di Clairant, i valori della gravità osservati mediante il pendolo nei vari punti della superficie del globo. Si è per tale ragione che il pendolo, che è l'istrumento appunto col quale si determinano quei valori, è detto *pendolo geodetico*.

(O. Z. B.)].

costrutto molto solidamente. Quindi anche qui si manifesta chiaramente come nulla vi sia di assolutamente fisso.

Da quell'epoca, Repsold in Amburgo, costrusse dei sostegni per il pendolo, nei quali l'elasticità non può più avere alcuna influenza perturbatrice sulle osservazioni; con istrumenti di tal fatta si istituiscono le osservazioni pendolari in connessione coi lavori dell'Associazione Geodetica Internazionale.

Ma per quanto si sia cercato di raggiungere la massima esattezza in queste misure col pendolo, e nei lavori delle misure di gradi, pur tuttavia si constatarono certi errori sistematicamente distribuiti, o meglio deviazioni dalla teoria accettata, i quali si poterono spiegare unicamente coll'ammettere che la supposizione, che la Terra sia una perfetta ellissoide di rivoluzione, non ha un valore assoluto. Naturalmente in tutte queste investigazioni si fa astrazione dalle disuguaglianze topografiche della superficie terrestre, ed in particolar modo dall'elevazione delle masse continentali sul livello del mare. Tutte le quantità trovate vengono ridotte ad una data altezza sul livello del mare a mezzo della livellazione di precisione; così, ad esempio, i risultati della misura di gradi in Europa vengono ridotti allo zero dell'idrometro in Swinemunde, giacchè fu lecito presupporre che il livello medio dell'acqua del Mar Baltico, che non mostra quasi alcun movimento di marea, sarebbe stato sotto tutte le circostanze costante. Ora nel ricondurre tutte le osservazioni alla supposizione, che esse fossero state istituite tutte all'altezza del livello medio delle acque del Mar Baltico (ciò si può sempre effettuare con sufficiente esattezza, anche quando le ipotesi sulla figura della Terra, impiegate in questa riduzione, non siano completamente esatte, giacchè qui in certo qual modo entrano nel calcolo soltanto le differenze seconde di questo errore), apparve manifesto che le lunghezze dei gradi di latitudine e di longitudine quanto le lunghezze del pendolo osservate, vale a dire le intensità della gravità, non si corrispondevano fra loro così esattamente, come dovrebbe avvenire sopra un'ellissoide di rivoluzione. Così, ad esempio, se si segnassero sulla Terra le linee di eguale intensità della gravità, quali risultano dalle osservazioni del pendolo, se la Terra fosse un'ellissoide di rivoluzione esse dovrebbero manifestamente correre parallelamente ai circoli di latitudine; per contro esse mostrano la forma disegnata sulla Carta a pagina 507. Si vede, che in complesso esse seguono i circoli di latitudine, ma che però hanno delle sporgenze e delle insenature, che fanno deviare sistematicamente il loro percorso da quello che risulterebbe dalle supposizioni teoriche.

Lo stesso fenomeno si ripete nelle misure dei gradi di latitudine e longitudine. Se si batte la via inversa, di quella che abbiamo tenuta, per trovare le dimensioni della Terra stessa, vale a dire se si accetta come figura della Terra l'ellissoide che risulta dal complesso di tutte le misure di gradi meritevoli di fiducia, ad esempio quello di Bessel, e se su di essa si congiungono trigonometricamente due punti le cui longitudini e latitudini siano state astronomicamente determinate con esattezza, rimane ancora un errore, che altra volta veniva riguardato come un inevitabile errore d'osservazione; oggi invece, nei nuovi lavori di geodesia, il corso sistematico di questo errore, che si estende su vaste regioni, dimostra che la supposizione teorica che la Terra sia un'ellissoide di rivoluzione non può essere giusta.

Facciamoci a studiare alquanto meglio questa importante questione. Il punto principale di partenza della triangolazione prussiana è situato nelle vicinanze di Berlino sul Rauenberg. Un altro punto di quella rete di triangoli è Glienick presso Zossen. La distanza fra quei due luoghi fu misurata trigonometricamente, distendendo fra essi una rete di triangoli. Ma questa distanza può venire determinata anche a mezzo delle longitudini e latitudini determinate astronomicamente,

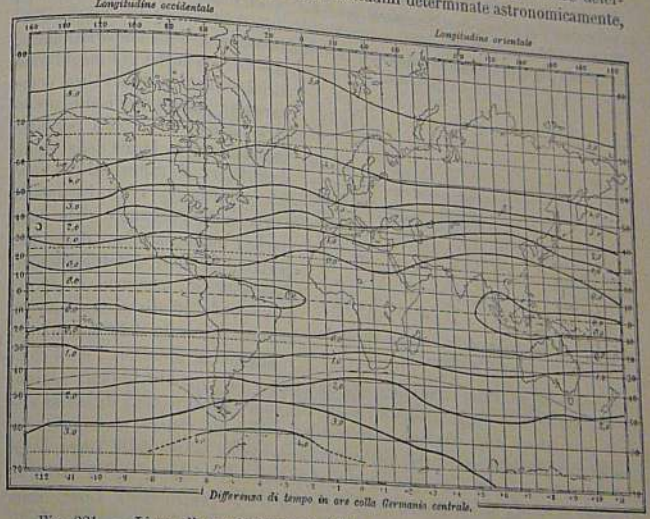


Fig. 221. — Linee di eguale intensità della gravità secondo le misure del pendolo.

quando si prenda per fondamento una certa supposizione sulla grandezza e figura della Terra. La prima deduzione è manifestamente la più giusta, quando si vogliono ottenere soltanto misure di distanza; giacchè una rete di triangoli di un'estensione relativamente così ristretta, si può sempre misurare tanto esattamente che nella determinazione della distanza rettilinea di quei due luoghi, può al più rimanere un errore di alcuni centimetri. Per contro in questa regione dei dintorni di Berlino si avvertono fra i risultati dei due metodi delle differenze che salgono fino a metri 4,6 per ogni chilometro della distanza corrispondente. Ad esempio, fra il menzionato vertice in Glienick ed il vertice di Gehrenberg si è constatato una differenza in cifre rotonde di 190 m. Ora, a mezzo delle quantità trovate geodeticamente, vale a dire a mezzo della triangolazione, si possono calcolare le coordinate geografiche di un punto, partendo da un altro, le cui coordinate geografiche vengano ritenute come giuste. Se procedendo a questo modo si parte dalla stazione di Rauenberg, si trova una latitudine di Glienick inferiore di 3,68″ a quella determinata astronomicamente; per l'azimut si ha una corrispondente

differenza di 0,52″. Per Gehrenberg questa differenza nella latitudine ammonta a 2,47″, ma nel verso opposto e nell'azimut a 0,74″, parimenti in senso opposto. Quindi se si fosse congiunto direttamente Gehrenberg con Glienick, rimarrebbe a spiegarsi l'errore di ben 6″ nella latitudine.

Questa differenza fu denominata *deviazione del filo a piombo*, denominazione che in realtà spiega chiaramente il fenomeno del quale si tratta. Il metodo, pur ora esposto dei così detti *trasporti geodetici*, mostra cioè che le direzioni del filo a piombo, ovvero, il che torna lo stesso, delle verticali di due luoghi d'osservazione, e dalle quali si parte per determinare astronomicamente la latitudine, non corrono anche se i luoghi sono vicini, l'una rispetto all'altra, come sarebbe matematicamente necessario quando si prenda per base una data forma ideale della figura della Terra. Si rammenti che nelle misure d'angoli cogli istrumenti astronomici, l'orizzonte dato dalle livelle è quello che serve di norma; pertanto lo zenit, determinato dall'orizzonte di mercurio o simili, corrisponde effettivamente alla direzione osservata della gravità nel luogo che si considera; ed il complemento della latitudine geografica trovata (vale a dire quanto bisogna aggiungere ad essa per avere 90 gradi) è l'esatta distanza angolare della direzione che va al polo celeste dalla direzione della verticale. È facile vedere che questa in una Terra ellissoidica non passa più esattamente per il centro della Terra, come avverrebbe nel caso di una Terra sferica. Il piano dell'orizzonte che è tangente all'orizzonte, forma angoli diversi colla retta che va al centro della Terra, come appare dalla figura 222. Ma il filo a piombo (la verticale) è sempre perpendicolare al piano dell'orizzonte. L'angolo, che la verticale fa colla retta che va al centro della Terra, dipende dalla latitudine geografica e dallo schiacciamento dello sferoide; solo ai poli ed all'equatore quell'angolo è nullo. Nel nostro trasporto geodetico si suppose prima di tutto che la direzione della verticale a Rauenberg s'accordi coll'ellissoide di Bessel. Il trasporto permette quindi di trovare con misure dirette per le altre stazioni, le direzioni della verticale che seguono necessariamente da quella supposizione, e questa pure non coincide colla direzione allo zenit che si verifica realmente, quale è senza incertezze data dall'istrumento dell'astronomo e dall'orizzonte di mercurio. Si producono quindi realmente degli spostamenti della direzione della gravità, deviazioni del filo a piombo, le quali dietro ricerche assai precise risultano costanti per un dato luogo.

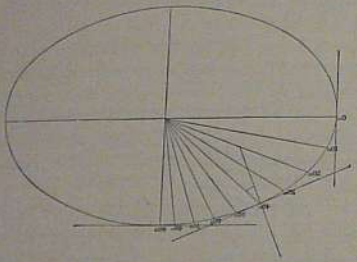


Fig. 222. — Deviazione della verticale sferoidica da quella sferica.

In certe circostanze una deviazione del filo a piombo è immediatamente spiegabile. La forza di gravità è una proprietà che affetta tutta la materia. A mezzo di apparecchi delicatissimi, quali la bilancia di torsione, si può immediatamente dimostrare che una grossa sfera di metallo agisce attrattivamente sopra una piccola, la smuove e la scosta dalla sua posizione di riposo: una tal sfera quindi

agirebbe di già sopra un filo a piombo appeso vicino ad essa e lo sposterebbe dalla sua direzione. Non è quindi a meravigliare se le montagne terrestri deviano parimente il filo a piombo (Fig. 223), e si può infatti calcolare la deviazione del filo a piombo che deve necessariamente essere prodotta dalla massa di una catena di montagne. Ciò facendo si riscontrano numeri ragguardevoli; così, ad esempio, la massa granitica delle piramidi d'Egitto è atta a produrre già di per sè delle deviazioni di un ammontare avvertibile. La massa delle Alpi dovrebbe teoricamente produrre una deviazione di almeno un minuto d'arco; e se quivi, come in altri luoghi analoghi, la reale deviazione, benchè sempre ragguardevole, ad esempio in Nizza eguale a 20″, è pur sempre inferiore al valore assegnato dalla

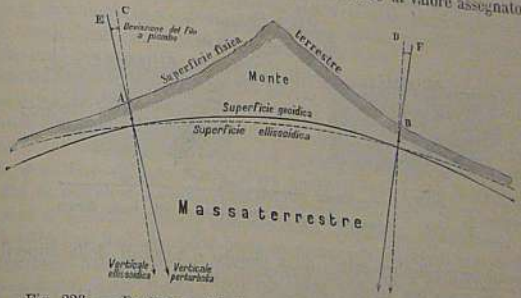


Fig. 223 — Deviazione del filo a piombo prodotta da una montagna.

teoria, ciò molto probabilmente deriva dal fatto che sotto le grandi giogaie montagnose la crosta terrestre s'incurva a vôlta, così che sotto ad essa si hanno grandi cavità o per lo meno regioni ripiene di masse meno dense. Questo modo di vedere è condiviso dalla geologia moderna, la quale ammette che le montagne si siano formate, a mezzo di quel movimento detto tettonico, come strati sovrapposti l'uno all'altro, della crosta terrestre che s'andava incurvando e spaccando.

Sotto questo aspetto sono molto notevoli ed istruttive le deviazioni negative del filo a piombo chiaramente dimostrate in alcuni luoghi, cioè repulsioni apparenti del filo a piombo, che emanano da alcuni centri. Una cosa di tal genere fu constatata da Schweizer nei dintorni di Mosca, dove con quel metodo si poterono congetturare, con sufficiente probabilità, enormi cavità sotterranee del suolo, benchè forse esistenti soltanto a grandi profondità sotto quella regione. Qualche cosa di molto simile si verifica anche nella regione circostante a Berlino. Le deviazioni del filo a piombo additano qui ad un punto alquanto ad oriente del Müggelbergen, sotto il quale giù nel profondo deve esistere una massa perturbatrice (cioè apparentemente repellente) meno densa delle parti circonvicine della crosta terrestre; e si presenta ovvia la congettura che la perturbazione osservata debba essere causata dall'enorme deposito di salgemma, che senza dubbio si stende sotto quella regione. In altri luoghi con forti deviazioni positive del filo a piombo si potrebbe ammettere, con sufficienti ragioni, l'esistenza di masse sotterranee di

peso specifico relativamente alto, quali grandi strati di ferro o di rame, come nell'Harz che sotto questo aspetto è molto interessante. La precisione della nostra arte del misurare ha fatto ai giorni nostri progressi così mirabili che, coll'osservazione del Cielo, noi possiamo fare scoperte nelle oscure profondità della Terra.

Lo scopo essenziale della geodesia moderna è quello di determinare per ogni singola regione della superficie terrestre in particolare, le deviazioni della vera figura della Terra da una figura teoricamente semplice presupposta, quale ad esempio l'ellissoide di Bessel. La figura accettata serve soltanto come superficie di riferimento, sulla quale si costruisce la superficie corrispondente alla vera forma della Terra, che è detta il *geoide*. Questo *geoide* è quindi una superficie alla

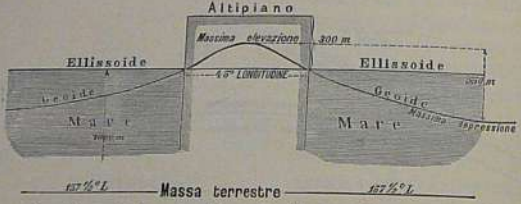


Fig. 224. — Andamento del geoide dal mare alla terra ferma.

quale sono perpendicolari tutti i fili a piombo o verticali della superficie terrestre, e che passa per un dato punto del livello del mare.

È possibile che le deviazioni del geoide rispetto allo sferoide (*a*) siano ragguardevoli: e che ciò possa essere realmente, appare dalla semplice considerazione che alla superficie stessa della Terra le masse di densità diversa non sono distribuite simmetricamente. I grandi bacini marittimi, a cagione della minor gravità specifica dell'acqua, esercitano un'attrazione minore delle masse rocciose che su di esse s'innalzano. La superficie del geoide, nei continenti, si eleverà pertanto su quella dell'ellissoide, mentre nei mari rimane sotto di essa (Fig. 224). Facendo alcuni apprezzamenti medi sulla massa dei continenti e la profondità dei mari si può calcolare che avvengano differenze d'altezza fra le due superficie menzionate verso l'alto o verso il basso, anche di 400 metri, così che in un sistema di tubi comunicanti che venisse fatto passare per il centro della Terra, le differenze di livello rispetto alle distanze dal centro della Terra, che l'ellissoide di Bessel darebbe in quei casi, potrebbero salire sino ad 800 metri. Da ciò segue immediatamente che la superficie di una massa d'acqua libera di muoversi, che fosse condotta da un sistema di canali attraverso alla terraferma, non formerebbe punto una figura regolare, ma avrebbe delle ondulazioni che potrebbero avere nei rialzi un'elevazione di ben 800 metri; e l'acqua che la costituisce, malgrado che la sua superficie esterna faccia un angolo notevole colla vera sezione orizzontale, non ha alcuna tendenza a scorrere e a ragguagliarsi, cioè a comporre una

(*a*) [Lo sferoide, od ellissoide, è la superficie di riferimento accennata nel testo. (O. Z. B.)].

figura geometrica perfettamente simmetrica. In realtà rialzi d'ondulazione di tal fatta s'addossano a tutti i continenti, giacché questi agiscono attrattivamente. Le superficie degli oceani sono concave, e la massima parte dei gruppi di isole che emergono da esse, scomparirebbero senza dubbio sotto le onde, ove venisse a cessare quest'attrazione dei continenti. Una nave che percorra l'oceano, non conserva, se anche fa rotta lungo un parallelo, durante il suo corso la distanza media dal centro della Terra, ma in alto mare sarà più vicina a quel punto di parecchie centinaia di metri, e se ne allontanerà poi di nuovo sopra una superficie d'acqua che andrà obliquamente elevandosi. Non vi è però alcun metodo che permetta di constatare ciò in alcuna misura dalla nave, giacchè le osservazioni astronomiche dell'esattezza a ciò bastevole non si possono eseguire sul mare, e neppure il barometro in questo caso darà notizia alcuna, giacchè l'oceano aereo segue le stesse leggi che l'involucro liquido della Terra.

Esiste però un mezzo di constatare la depressione della superficie del mare sperimentalmente, ed esso ci è ancora fornito dal pendolo. Se si fa oscillare il pendolo sopra isole oceaniche, l'intensità della gravità si mostra per esse più ragguardevole che non nelle regioni della costa dell'oceano stesso. Questa differenza per Sant'Elena è di 10,3 oscillazioni del pendolo a secondi, di 9,9 all'Isola di Francia, e di 11,8 all'Isola Bonin. Però queste differenze non corrispondono a quelle che si potrebbe attendere teoricamente. È bensì vero che in questo argomento non si possono istituire computi esatti, giacchè le triangolazioni non si possono estendere fino alle isole poste in mezzo agli oceani; il metodo del trasporto geodetico fallisce. Ma la differenza dell'intensità della gravità che si osserva può avere molte cause diverse; essa aumenta a motivo della più bassa posizione dell'isola, deve per contro subire una diminuzione per la presenza delle masse acquee circostanti, le quali sono specificamente più leggiere della crosta terrestre. Dai risultati delle osservazioni istituite a tale riguardo, sembra risultare che a questa diminuzione dell'intensità della gravità si oppone uno strato molto denso della crosta terrestre, che si estende sotto i mari. Secondo questa opinione, la crosta terrestre sarebbe molto più densa sotto i mari che sotto i continenti, e si può pensare che il processo di raffreddamento sotto il fondo del mare, in causa dell'acqua fredda che lo bagna costantemente, sia stato più rapido che sotto le masse continentali; queste si possono riguardare come elevazioni, ovvero in certo modo montagne di primo grado, sotto le quali si verificano delle sottrazioni di massa, quali sono quelle che le deviazioni del filo a piombo attestano per quei rialzi secondari, che si elevano sotto forma di montagne sopra i continenti (vedi figura 225). A questo punto siamo giunti alla linea di confine lungo la quale la Geologia o la Geofisica si tocca in più d'un punto coll'Astronomia.

L'azione attrattiva esercitata dal complesso di continenti sulle masse d'acqua degli oceani deve nelle diverse regioni della Terra essere differente, come sono differenti le deviazioni del filo a piombo. Da ciò segue che il *livello medio del mare*, quale è osservato sulle coste, non è per nulla ovunque il medesimo; anche per ciò è necessario ridurre tutte le misure ad un medesimo livello. Le differenze di livello fra i vari mari non si possono trovare a mezzo della livellazione di precisione, giacchè il livello subisce la stessa attrazione che le masse acquee che colle loro ondulazioni generano quelle differenze; quella differenza si può invece

trovare a mezzo del trasporto geodetico. Però questo metodo, quando deve venire applicato a regioni continentali molto estese, diviene troppo inesatto, di guisa che non può più fornire cognizioni precise sulla vera differenza della distanza degli zeri dei vari idrometri (o pelo d'acqua) dal centro della Terra, ben inteso, nello stato attuale dei nostri mezzi d'osservazione.

In certe circostanze la questione della differenza del livello medio di due mari, può acquistare un'importanza pratica grande. Ciò avvenne, per esempio, quando si trattò del taglio dell'istmo di Suez. Una livellazione anteriore aveva a suo tempo attestato che fra il mare Mediterraneo ed il Mar Rosso esisteva una differenza di livello di circa 10 metri, e perciò si temeva che, rimovendo l'ultima barriera di separazione, si producesse una troppo energica corrente, capace di distruggere l'opera grandiosa. Laplace, il cui avviso fu allora invocato, tranquillizzò gli iniziatori, dichiarando esplicitamente che quella livellazione doveva essere sbagliata, poichè le differenze che probabilmente esistono, si riproducono con un eguale importo nella livellazione stessa. — In realtà poi, come è noto, la comunicazione ed il ragguaglio fra i due mari avvenne molto quietamente.

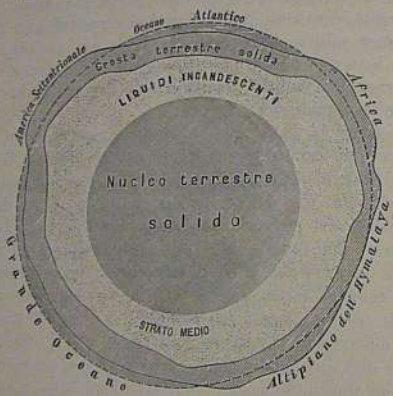


Fig. 225. — Sezione della crosta terrestre lungo il 30° parallelo, secondo Faye (Notevolmente esagerata).

L'osservazione esatta ed il paragone del livello medio dei mari, che, come vedemmo, divengono possibili soltanto a mezzo delle più delicate misure geodetiche concorrenti alla determinazione della forma del geoide, sono ancora di grande importanza per molte altre questioni, benchè non possano ricevere il loro compimento che nei secoli a venire. È certo che il livello medio del mare va soggetto a variazioni secolari; il che torna quanto dire, che la forma del geoide, la figura matematica e fisica della Terra, si mutano costantemente. In alcuni luoghi ciò fu constatato praticamente con completa sicurezza; è noto che la penisola Scandinava emerge continuamente sempre più dalle onde, e precisamente di parecchi metri in un secolo. Senza altri dati non è possibile decidere se sia la Terra che viene elevandosi sopra il mare, ovvero se sia il livello del mare che vada gradatamente abbassandosi. Soltanto osservazioni della deviazione del filo a piombo e dell'intensità della gravità, prolungate per molto tempo, potranno nell'avvenire permettere una decisione al riguardo. Qualunque possa essere il risultato, la cosa è molto notevole. Se è la grande penisola costituita per la massima parte delle più dure roccie primitive che si eleva, ciò mostra come le forze che servirono a plasmare la Terra

lavorino ancora oggi potentemente attorno alla forma del nostro mondo; ma, se è il mare che ivi si ritira, ciò può essere soltanto prodotto da non meno grandiose trasposizioni di masse nell'interno della Terra, in causa delle quali la forza generale d'attrazione diminuisce ivi regolarmente (a).

Una parte di questi spostamenti della linea di costa, osservati in molti luoghi differenti, diventerà più tardi di natura più generale; cioè si appaleserà distribuita regolarmente sopra tutta la superficie terrestre; l'altezza generale dei mari deve cambiare colle epoche geologiche. Poichè in causa di processi chimici viene ognor più imprigionata dell'acqua, così i bacini dei mari devono, coll'aumentare dell'età della Terra, divenire più ristretti; i rivolgimenii geologici hanno per conseguenza indispensabile un cambiamento costante del livello dell'acqua. Ad esempio, le epoche glaciali trattennero sulle masse continentali tanta acqua allo stato solido di ghiaccio, che secondo calcoli moderati, il livello medio di tutti i mari complessivamente s'abbassò di parecchie diecine di metri. D'altra parte fu calcolato, che il ghiaccio saldo ora ricoprente le regioni circostanti al polo Nord, nell'ipotesi che fino a 70 gradi di latitudine esso formi uno strato di 1000 piedi d'altezza, convertito in acqua, potrebbe aumentare di m. 8,7 l'altezza di un oceano che ricoprisse uniformemente tutta la Terra. Inoltre se la velocità di rotazione della Terra cambiasse, vale a dire se la lunghezza del giorno sidereale non fosse rigorosamente costante, il geoide dovrebbe risentirne generali deformazioni. Con ciò verrebbe a modificarsi anche l'azione della forza centrifuga, cioè lo schiacciamento della Terra diverrebbe un altro, il che potrebbe rendersi a noi palese soltanto a mezzo delle variazioni del livello del mare, mentre le masse compatte della terraferma ritroverebbero e riprenderebbero con un andamento molto più lento la loro posizione d'equilibrio, con spostamenti che darebbero origine a nuove montagne. La questione della variabilità della lunghezza del giorno sidereo è, per molti rispetti, altamente importante; nel corso delle nostre future considerazioni dovremo molte volte ritornare su tale argomento.

Ma un'altra causa ancora può cagionare uno spostamento della linea di costa, cioè una variazione della superficie geoidica; essa è una qualsiasi variabilità della latitudine. Si è sempre ritenuto come evidente, che l'asse attorno al quale la Terra ruota effettivamente, dovesse coincidere assolutamente coll'asse geometrico o di simmetria della massa terrestre. Per quest'ultimo s'intende, ad esempio in uno sferoide, la retta girando intorno alla quale un'ellisse genera lo sferoide; essa è ad un tempo il più breve diametro dello sferoide stesso. Se la Terra fosse un'ellissoide perfetta, si sarebbe autorizzati a ritenere che il suo asse di rotazione passa precisamente per il suo polo geometrico. Nella supposizione fatta, questa è una necessità fisica. Ogni corpo libero che ruota nello spazio, conserva, sotto tutte le circostanze, invariata la direzione del suo asse di rotazione. Ogni ragazzo ha osservato ciò nella trottola, che gira sopra se stessa soltanto attorno al suo asse di simmetria; cioè attorno a quella linea dintorno alla quale il suo volume è disposto in modo assolutamente simmetrico. Se in un punto qualunque

(a) [Per questi movimenti del suolo come per le altre questioni di geologia, si può consultare con molto frutto il *Compendio di Geologia* del Prof. A. Issel. Torino, Unione Tipografico-Editrice, 1896. (O. Z. B.)].

della trottola si colloca un corpo non simmetricamente disposto, se essa può, lo trascinerà seco, od altrimenti andrà soggetta a forti oscillazioni, finchè il suo movimento sarà intieramente vinto dalle perturbazioni. Se quel corpo è mobile così da non poter staccarsi dalla trottola, ma da potersi spostare su di essa, si disporrà in una posizione simmetrica, mentre nell'intervallo la trottola in causa della reazione, sarà dal movimento del corpo perturbante indotta ad un tenue oscillare; il suo asse di rotazione si muove in esso sopra una superficie conica, la cui linea mediana coincide coll'antica posizione dell'asse di rotazione prima delle perturbazioni. Pertanto se l'asse terrestre fosse stato una volta, da una causa esterna qualunque, allontanato dalla sua posizione di quiete, esso potrebbe al più eseguire tali oscillazioni di natura conica, come si osserva in realtà; su ciò ritorneremo più avanti. Ma anche in ciò l'asse di rotazione rimane in piena coincidenza con l'asse geometrico.

Ma la cosa procede diversamente col globo terrestre: noi sappiamo che esso non ha per nulla una forma perfettamente geometrica. Quindi senz'altro sussidio, non possiamo sapere quale sia la posizione del corrispondente asse di simmetria; l'osservazione della latitudine ci dà soltanto la posizione dell'asse di rotazione. Se questo asse di rotazione non è anche contemporaneamente un'asse di simmetria del globo terrestre (in questo caso l'asse di simmetria viene definito come quello, intorno al quale la massa della Terra è distribuita uniformemente), allora i due assi hanno la tendenza ad accostarsi l'uno all'altro, vale a dire l'asse di rotazione cambierà di posizione nell'interno della Terra, mentre contemporaneamente la distribuzione della massa nell'interno del globo terrestre tende a cambiare, col che l'asse di simmetria diviene un altro. Difficilmente noi potremo constatare l'ultimo fenomeno, il primo per contro si rivelerà con una variazione della latitudine. Ora poichè noi di continuo assistiamo a spostamenti delle masse mobili situate alla superficie della Terra o sopra di essa, spostamenti che non sono certamente una conseguenza del processo di ragguagliamento sopra menzionato (rammentiamo qui soltanto gl'imponenti moti meteorologici, che in altra circostanza abbiamo già ridotto in numeri, a pagina 289, quando illustrammo il lavoro prodotto dal Sole sulla Terra), così nè anche l'asse di simmetria del globo terrestre può conservare una posizione fissa, e qui ancora, a seconda di quanto precede, deve verificarsi come ulteriore conseguenza, una variabilità delle latitudini.

Quindi queste fluttuazioni del polo sono di natura affatto diversa, dalle evoluzioni coniche dell'asse di rotazione attorno alla sua direzione ideale, che noi impareremo più tardi a conoscere sotto il nome di precessione e nutazione. In queste l'asse di rotazione che sta fisso nel globo terrestre si muove sopra una superficie conica, seco trascinando l'intiera Terra; perciò l'asse polare è rivolto volta a volta verso stelle diverse della vôlta celeste, senza che per un determinato luogo della superficie terrestre, la latitudine stessa subisca una variazione. Nelle fluttuazioni del polo che ora stiamo considerando, si è invece il valore della latitudine geografica che deve per tutti i luoghi della superficie terrestre essere sottoposto a fluttuazioni sistematiche.

Poichè però tali variazioni si devono mantenere entro limiti molto ristretti, così si fu soltanto in questi ultimi tempi, nei quali l'arte del misurare raggiunse

una precisione meravigliosa, che si giunse a dimostrare la loro reale esistenza (*a*). Ai tempi di Tycho de Brahe, nei quali propriamente incomincia l'arte delle misure astronomiche, una determinazione di latitudine colla precisione di un minuto d'arco, veniva già riguardata come delle migliori. Intorno alla metà del secolo decimottavo, quando si era incominciato ad impiegare il cannocchiale per scopi astronomici, nelle determinazioni di questo genere si riguardava come limite di precisione cinque minuti secondi d'arco. In principio del nostro secolo questa incertezza fu portata a circa un secondo d'arco; e si fu soltanto Bessel, il padre della nostra moderna misura di precisione, che determinò delle latitudini geografiche fino a circa $0,1''$. Oggi si posseggono metodi coi quali la latitudine si può determinare con un'errore di $0,02''$; in quanto però sorgenti d'errore sistematiche, che agiscano nel senso medesimo delle fluttuazioni del polo cercate, non affettino il risultato complessivo.

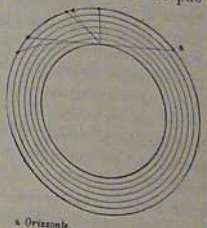


Fig. 226. — Effetto della rifrazione atmosferica.

In una possibile comunanza di due o più cause, che esercitano ad un dipresso la stessa influenza sul risultato finale, sta la principale difficoltà di cosifatte ricerche di una natura estremamente delicata. Già nel secolo precedente, il famoso matematico Eulero aveva fatto vedere la possibilità di simili fluttuazioni, ed in certe supposizioni teoriche gli venne fatto di dimostrare, che, ove esse si verificassero, dovrebbero rimaner rinchiuse in un periodo di circa 306 giorni. D'altra parte Thomson, con apprezzamenti delle masse che annualmente cambiano di posto sulla superficie terrestre in causa dei processi meteorologici, calcolò che le oscillazioni del polo possono salire fino ad un mezzo secondo d'arco. Quindi la massima oscillazione che si avrebbe da misurare sarebbe tale che l'obiettivo di un cerchio meridiano di media grandezza dovrebbe essere portato ad una posizione che sarebbe diversa dalla sua rispetto all'orizzonte di circa una trentesima parte di spessore di capello. Ma per scoprire non soltanto questa oscillazione massima, ma anche la sua legge, bisognerebbe cercare di dividere quella trentesima parte di spessore di capello in frazioni ancora più piccole. Ora il periodo eulerianо non è essenzialmente diverso da un anno, così che l'influenza della temperatura sull'istrumento, che dovrebbe avere del pari un periodo annuo, e che forse si sottrarrebbe tuttavia ancora alle più delicate indagini dell'istrumento, potrebbe mostrare una fluttuazione simile.

Con perturbazioni dello stesso senso potrebbe ancora agire la rifrazione atmosferica. Abbiamo già accennato altrove, che l'atmosfera che ci circonda, dovrebbe

(*a*) [Chi fosse desideroso di più ampia istruzione intorno alla storia della variazione delle latitudini può consultare i seguenti scritti di Ottavio Zanotti Bianco, *Il livello del mare* (*Bollettino mensuale della Società Meteorologica Italiana*, serie II, vol. IX, 1889). — *La forma e la grandezza della Terra nello stato attuale delle conoscenze umane* (*Pensiero Italiano*, vol. II); riprodotto nel vol. IX della *Rivista di Topografia e Catasto*. — *La variazione delle latitudini* (*Cosmos* di Guido Cora, serie II, vol. XI. Torino 1892-93, fascicoli VIII e IX), nonchè nella *Rivista di Topografia e Catasto*, n^i 10, 11, 12. Aprile, Maggio, Giugno 1896. (O. Z. B.)].

deviare dal loro cammino primitivo i raggi luminosi, non diversamente da quanto facciano le lenti ottiche dei nostri cannocchiali. Soltanto questa enorme lente sferica, che è costituita dal nostro involucro aereo, è di una irregolarità molto maggiore, ed ha in generale le proprietà di un obiettivo molto cattivo. Per quanto ci sia concesso di rendere buoni i nostri mezzi ottici, tuttavia non si riesce a liberarsi dalle deviazioni più o meno regolari dei raggi luminosi, che deformano per il nostro occhio umano l'immagine vera della vôlta celeste. Se almeno l'atmosfera fosse un corpo invariabile, si potrebbe determinare l'andamento dei raggi luminosi con una certa esattezza. La teoria della rifrazione mostra che la deviazione di un raggio luminoso avviene sempre alla superficie di separazione fra due mezzi di densità diversa, e che la grandezza della deviazione dipende primieramente dalla densità del mezzo e secondariamente dall'angolo sotto il quale il raggio incontra il mezzo. Se il raggio è perpendicolare, ovvero, come si suol dire in linguaggio matematico, normale alla superficie del mezzo rifrangente, esso non subisce alcuna deviazione; essa diviene per contro massima con un'incidenza radente.

Da ciò segue senz'altro, come mostra anche evidentemente la figura 226, che le stelle che si trovano allo zenit dell'osservatore non subiscono alcun spostamento: il loro sito apparente, cioè quello ove noi le vediamo, coincide col sito vero. Ma quanto più la stella si allontana dallo zenit, tanto più la sua luce deve venir deviata, e ciò avviene precisamente in guisa, che sempre, come la teoria mostra almeno per un'atmosfera simmetricamente costituita, la stella viene apparentemente elevata. Il raggio s'inflette man mano verso la Terra, giacchè, nel suo percorso dal limite ultimo dell'atmosfera fino alla superficie della Terra, deve attraversare strati di densità ognor crescente, i quali lo deviano sempre più. Quindi, quando noi guardiamo una stella, non la vediamo per nulla in linea retta ma secondo una curva. In conseguenza di ciò la rifrazione normale altera solamente l'altezza angolare della stella, non il suo azimut. Ora poichè a cagione del movimento diurno ogni stella cambia continuamente la sua altezza, e colla teoria si può esattamente calcolare quanto sia il valore di questa variazione d'altezza per un dato intervallo di tempo, in quanto essa variazione dipende dal movimento diurno, così a mezzo delle altezze effettivamente misurate coll'altazimut si può calcolare il valore della rifrazione per ogni altezza. Da ciò si imparò che l'influenza della rifrazione atmosferica è molto ragguardevole, come si può scorgere dalla seguente tabella.

Tavola di rifrazione di Bessel. Rifrazione $= \alpha(1 - \beta - \gamma)$.

Distanza zenitale Z.	Rifrazione media α	Distanza zenitale Z.	Rifrazione media α	Barometro a 0° in mill.	β	Temperatura dell'aria in centigr.	γ
0°	0,0″	70°	2′ 37,3″	695	0,075	−15°	−0,094
10°	10,2	75°	3 32,1	700	0,069	10°	0,073
20°	21,0	80°	5 16,2	705	0,062	− 5°	0,053
30°	33,3	85°	9 46,5	710	0,055	0°	0,034
40°	48,4	86°	11 38,9	715	0,049	+ 5°	−0,015
45°	57,7	87°	14 14,6	720	0,042	10°	+0,002
50°	68,7	88°	18 8,6	725	0,035	15°	0,020
55°	82,3	89°	24 24,6	730	0,029	20°	0,036
60°	1′ 39,7	90°	34 54,1	735	0,022	25°	0,052
65°	2 32,0			740	0,015	+ 30°	+0,068

Per stelle situate a distanze zenitali, alle quali nei nostri paesi si misura la latitudine, la rifrazione sale già ad una quarantina di secondi d'arco; ma verso l'orizzonte essa va crescendo rapidamente, fino a circa 35 minuti. Ora poichè il diametro apparente del Sole è sempre inferiore a tal valore, così al nascere ed al tramontare la sua immagine sarà sempre rialzata di più di tutta la sua grandezza, vale a dire noi lo vedremo completamente levato sopra l'orizzonte geometrico, quando invece esso starà intieramente ancora sotto quel piano. La grandezza di quest'angolo di spostamento non si mostra neppure costante per altezze uguali: la rifrazione, come teoricamente si può prevedere, dipende tanto dallo stato barometrico quanto da quello termometrico dell'aria. Nella nostra tabella sono dati i coefficienti relativi. In condizioni di barometro alto tutta l'atmosfera esercita sulla parte sottostante della superficie terrestre una pressione maggiore; essa esercita quindi un'azione più energicamente rifrangente. Col crescere della temperatura, per contro, l'aria si dilata, diventa più leggiera e quindi devia meno i raggi luminosi.

Noi possiamo tener conto esattamente della prima influenza, giacchè il barometro ci fornisce il peso di tutta la colonna d'aria che sovrasta immediatamente a noi. Ma per l'effetto della temperatura la faccenda si fa più scabrosa, giacchè non possiamo misurare mai altro che la temperatura degli infimi strati atmosferici. D'altronde non si può in precedenza ammettere, che la variazione della rifrazione abbia una relazione affatto regolare colla temperatura degli infimi strati atmosferici soltanto, giacchè ciò equivarrebbe a presupporre che la diminuzione della temperatura dell'aria coll'altezza proceda regolarmente. Ora ciò non si verifica per nulla; le osservazioni meteorologiche istituite in stazioni elevate, hanno in questi ultimi tempi dimostrato che in certe circostanze avvengono complete inversioni di temperatura, così che a qualche migliaio di metri sulla superficie della Terra dominano durante settimane temperature notevolmente più elevate di quelle che regnano sulla superficie stessa, ai piedi della stazione montana che si considera. Queste inversioni della temperatura sono in certo qual modo dipendenti dalla stagione dell'anno, e ad ogni modo, molto più frequenti in inverno che in estate. Ora poichè l'astronomo non può procurarsi nulla di preciso in un dato istante sulla temperatura media degli strati atmosferici, che la luce di una stella, che si vuole assoggettare a misura, attraversa, così egli è costretto a ricorrere al mezzo di supporre una certa costituzione regolare dell'atmosfera, che gli consenta di dedurre una temperatura media da quella misurata negli strati infimi dell'atmosfera. Tanto l'astronomo quanto il meteorologo, per quanto riguarda questa questione tanto importante per le loro ricerche, attendono molto dalle ascensioni scientifiche in pallone, il cui scopo si è, ai giorni nostri, quello di investigare lo stato dell'atmosfera, almeno lungo i primi dieci chilometri sulla superficie terrestre.

Poichè si verificano condizioni meteorologicamente anormali, della natura delle inversioni della temperatura, in connessione colle stagioni, come tutti gli altri processi meteorologici, così le ipotesi, tutte un pochino difettose, sugli effetti della rifrazione, sono forse tutte soggette del pari a periodi annui; e con ciò noi ritorniamo al punto di partenza della nostra digressione e vediamo, che dobbiamo, come meglio possiamo, allontanare dalle nostre determinazioni delle fluttuazioni del polo, un errore possibile nelle nostre congetture sugli effetti della rifrazione.

Il metodo che abbiamo esposto per la determinazione della latitudine, non è quindi più adatto a questo scopo; giacchè, nelle nostre latitudini, le stelle che si trovano nelle vicinanze del polo celeste, soffrono già troppo per gli effetti della rifrazione. Si dovette quindi ricorrere ad un metodo, nel quale si potessero impiegare stelle, vicine quanto è possibile allo zenit. Allo scopo che si aveva di mira, non bastava il misurare semplicemente col cerchio meridiano l'altezza di tali stelle, col che si potrebbe pur ottenere bene la latitudine, quando si supponga nota la declinazione delle stelle che si impiegano; e ciò perchè oltre all'errore nella declinazione ammessa, gli errori costanti del cerchio meridiano verrebbero troppo in giuoco; giacchè durante tutta la serie delle misure l'istrumento rimane ad un dipresso nella stessa posizione, l'osservazione facendosi soltanto nelle vicinanze dello zenit. Si è quindi immaginato un istrumento specialmente adatto a queste delicatissime misure di latitudine, che in complesso è simile ad un altazimut. Nell'adoperarlo si mira ad una stella situata nelle vicinanze dello zenit, e nello stesso tempo si fissa l'istrumento in modo, che esso possa muoversi soltanto attorno al suo asse verticale; lo si gira quindi di 180 gradi, onde misurare la distanza zenitale di un'altra stella, che culmini dall'altra parte dello zenit a, circa, un'eguale distanza, e che così è visibile nel campo del cannocchiale dopo che questo ha girato di 180 gradi, senza che l'istrumento abbia preso un'altra posizione nel senso dell'altezza. La piccola differenza in distanza zenitale fra le due stelle, che ancora rimane, vien misurata col micrometro. Con questo metodo, detto di Horrebow-Talcott, si trova quindi:

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta + \delta') + \frac{1}{2}(z + z')$$

nella quale δ e δ' sono le declinazioni delle stelle, z e z' le distanze zenitali che si trovano.

Questo metodo ha il vantaggio particolare, di essere libero dall'errore di graduazione dell'istrumento, giacchè nel calcolo s'introduce soltanto la differenza delle due distanze zenitali misurata col micrometro. Poichè, come sappiamo, nelle vicinanze dello zenit la rifrazione è generalmente piccola, e poichè le ipotesi anche alquanto difettose sullo stato dell'atmosfera, devono con grande probabilità agire nel modo e quantità medesimi sulle due parti dell'aria sovrastante al capo dell'osservatore, modo e quantità che poi scompaiono egualmente dalla differenza delle due distanze zenitali, così non rimane più che l'incertezza proveniente dalla declinazione delle due stelle. Perciò si impiegano soltanto quelle stelle, che sono state osservate molte volte sotto le più differenti latitudini, ad esempio, le stelle fondamentali. Ma anche un errore che s'introducesse per questa via, non potrebbe affettare il valore della latitudine che di una quantità costante. Osservando lungo molto tempo la stessa stella, si potrebbero con questo metodo determinare molto sicuramente le oscillazioni dell'altezza del polo.

Sebbene un procedimento così esatto non potesse ancora venire impiegato da Bessel, tuttavia, questo grande osservatore, era già nell'anno 1844 giunto per il primo sulle traccie di una variazione delle latitudini, che toccava il valore di 0,s". In una lettera ad Humboldt, egli allora scriveva: " Io penso a mutazioni interne del globo terrestre che hanno influenza sulla direzione della verticale „. Bessel però non ha proseguito ulteriormente quella investigazione. Solo nella conferenza

dell'Associazione Geodetica Internazionale tenutasi in Roma nell'anno 1883, la questione fu di nuovo sollevata da Fergola, e subito dopo Küstner, attuale direttore dell'Osservatorio di Bonn, ma a quel tempo osservatore a Berlino, scoprì una variazione della latitudine di Berlino di $0,2''$. Ma siccome era ancora sempre possibile il credere all'influenza sistematica di errori di diversa origine, si istituirono indagini per vedere se in altri osservatori, nei quali si fossero nell'epoca medesima istituite osservazioni di precisione corrispondente, si potevano constatare nello stesso tempo uguali variazioni; il che avvenne realmente per Pulkowa e Gotha. Finalmente poi la questione divenne all'ordine del giorno, così che l'Associazione Geodetica Internazionale che se ne interessò sempre, determinò nell'anno 1888 a Salzburg, che si addivenisse per parecchi anni, nel modo più preciso col metodo dianzi descritto, alla determinazione della latitudine contemporaneamente in diversi luoghi. Da ciò risultarono le seguenti serie di osservazioni, fra loro concordi, per Berlino, Potsdam e Praga:

Variazioni della latitudine in Berlino, Potsdam e Praga.

Berlino		Potsdam		Praga	
8 Ott. 1889: 52° 30' 17,55''		3 Ott. 1889: 52° 22' 56,31		27 Sett. 1889: 50° 5' 16,04''	
	0,14''		0,29''		0,19''
8 Nov. „ 17,39		29 Dic. „ 56,02		4 Nov. „ 15,85	
	0,11		0,03		0,16
23 Nov. „ 17,28		10 Gen. 1890: 55,99		16 Nov. „ 15,69	
	0,20		0,09		0,14
1 Gen. 1890: 17,08		29 Gen. „ 55,90		13 Gen. 1890: 15,55	
	0,04				
10 Gen. „ 17,12					
	0,08				
26 Gen. „ 17,04					

Si vede che dal 1889 al 1890 la latitudine variò contemporaneamente nei tre luoghi nello stesso senso di $0,4'' - 0,5''$. Ma naturalmente in queste ricerche di quantità così minime, era sempre possibile l'obbiezione, che durante quell'intervallo di tempo lo stato dell'atmosfera fosse stato in questa debole misura anormale anche allo zenit e sopra estese regioni, così che la rifrazione fosse rimasta ancora in giuoco. In cospetto della grande importanza della questione la menzionata Associazione Geodetica Internazionale deliberò nel 1890, che queste variazioni venissero studiate durante un anno in due luoghi, distanti fra loro il più possibile, e se fosse fattibile posti agli antipodi l'uno dell'altro: il valore della variazione doveva in questo caso essere uguale ma di segno contrario nei due luoghi. Questi luoghi furono scelti in Berlino e nelle isole Hawaii ad Honolulu: la loro differenza di longitudine è, quasi esattamente, di 180 gradi, il che importava essenzialmente, mentre la differenza di latitudine sale a 30 gradi. A Berlino l'osservatore fu Marcuse, e dalla parte americana venne inviato Preston ad Honolulu, ed entrambi a partire dal maggio 1891, e durante un anno, misurarono la latitudine col metodo di Horrebow. Le curve della figura mostrano, con quale concordanza quasi assoluta, ma però, come doveva avvenire, in senso opposto, abbia allora variato la latitudine sui due emisferi. Dopo ciò non si potè più discorrere di influenze atmosferiche od istrumentali che agissero nello stesso modo. L'esistenza di reali fluttuazioni della latitudine, e quindi di variazioni della posizione dell'asse di rotazione nell'interno della massa terrestre, era con ciò rigorosamente dimostrata.

Ma questa variazione non si appalesò nel suo andamento così regolare, come doveva pur essere stando alla teoria di Eulero, che parte dalla semplicissima supposizione, non rispondente però alla realtà, che essa sia un fenomeno determinato da una scossa perturbatrice verificatasi una volta sola. In realtà le perturbazioni si ripetono continuamente, annualmente quelle causate dai processi meteorologici. Ora poichè non si conosce per nulla, ne è possibile computare il

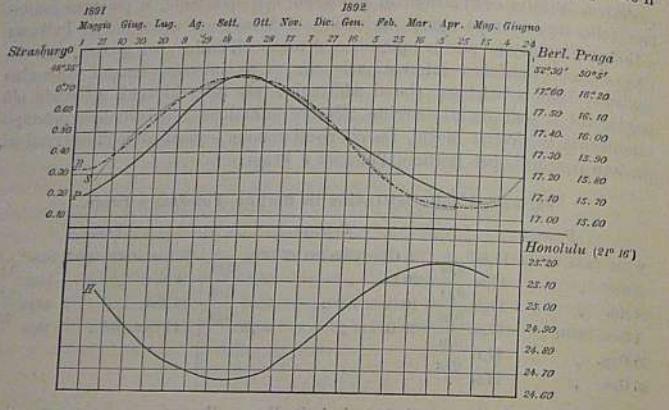


Fig. 227. — Curve delle variazioni della latitudine in Berlino, Praga, Strasburgo ed Honolulu.

complesso di tali influenze perturbatrici, così si pensò meglio di ricavare quel periodo dalle osservazioni stesse, senza alcuna presupposizione di sorta. Ciò facendo si trovò che l'asse di rotazione terrestre andò tra il 1891 ed il 1894 soggetto nell'interno del globo alle vicende rappresentate dalle curve disegnate nella figura 228. Le fluttuazioni estreme sono qui inferiori a $0{,}_{55}''$. Per farci un'idea esatta e chiara di questo spostamento, si potrebbe tracciare questo disegno sopra un globo, rappresentante la Terra, intorno ad uno dei suoi poli; allora, tenendo conto delle proporzioni, si osserverebbe, che i punti estremi sono interni ad un cerchio descritto intorno al polo vero in un dato istante e di 17 metri di raggio. Il punto, intorno al quale ruotò realmente la superficie terrestre circostante, andò lentamente errando sulla superficie stessa, lungo quelle curve irregolari su di essa segnate, ed il 1° novembre 1891 distava di 17 metri dal punto nel quale l'asse di rotazione della Terra incontrava realmente la superficie terrestre il 1° maggio del 1892. In complesso ed all'ingrosso il movimento dell'asse soddisfa a quella esigenza di un periodo, che non è molto diverso da un anno, e nel quale l'asse medesimo si sposta sulla superficie di un cono ideale immaginato nell'interno della Terra; ma, come era da aspettarsi, si possono constatare notevoli deviazioni da questo andamento medio, che probabilmente, ove si continui ad osservare per molti periodi venturi, riveleranno una connessione coi fenomeni meteorologici che avvengono alla superficie della Terra.

È molto notevole il repentino scostamento dell'asse terrestre nel 1893; esso si trovò allora distante solo pochi metri dalla posizione che aveva un anno innanzi. Invece di completare durante il corso di quell'anno la curva ellittica abbastanza regolare delle variazioni, l'andamento di queste mutò repentinamente di direzione. Le deviazioni osservate divennero sempre più piccole, finchè nel 1894 si ridussero completamente a zero. La lunghezza del periodo realmente constatata è in questo caso compresa fra 380 e 400 giorni. Si cercò poi di scoprire questo periodo anche in antiche osservazioni al circolo meridiano. Chandler discusse ben 33.000 di tali osservazioni, istituite fra il 1837 ed il 1891 in 17 Osservatori, e trovò che non si può generalmente riconoscere una pronunziata regolarità del periodo, che però si mostrò alquanto più evidente tra il 1863 ed il 1885, nel quale intervallo

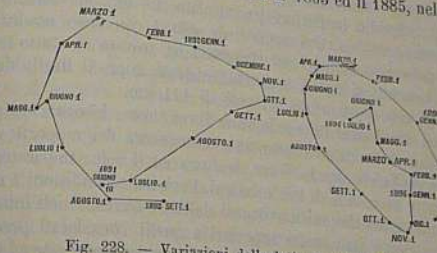


Fig. 228. — Variazioni della latitudine dal 1891 al 1894.

di tempo abbracciava 427 giorni. Potrebbe anche darsi che parecchi periodi di varia estensione si raggruppino in un solo, probabilmente di sette anni. Ma tutti questi problemi attendono ancora essenzialmente la loro risoluzione dalle osservazioni del secolo ventesimo.

Molte questioni riguardanti certi avvenimenti di geologia antichissima e processi climatologici sulla superficie della Terra richiedono, come per loro importantissima, la decisione della questione, se quelle variazioni della latitudine si compiano senza scostarsi molto da un dato valore medio, ovvero se esse abbiano anche sulla superficie terrestre un movimento progressivo, dal più al meno, nella direzione di un meridiano. Come vedremo meglio più innanzi, i confini delle zone climatiche si dispongono attorno a questi poli reali di rotazione della superficie terrestre e non attorno alla posizione geometrica dell'asse terrestre. Quindi quei confini variano col variare di quei punti sulla superficie della Terra, e pertanto anche le calotte polari di ghiaccio non hanno alcuna posizione media costante. Se ora nel corso dei lunghissimi intervalli di tempo, coi quali si computa l'età geologica della Terra, è avvenuta una variazione della latitudine generalmente di egual direzione, che poco per volta abbia raggiunto un valore di intieri gradi, allora si potrebbero con essa facilmente spiegare le epoche glaciali temporanee e periodicamente ripetentisi di estese regioni terrestri, le quali furono comprovate con sicurezza, mentre le loro cause rimasero fin ad oggi completamente ignorate.

S'accordano con questa spiegazione i ritrovamenti fatti, sotto alte latitudini, dei resti pietrificati di organismi, viventi soltanto in regioni meridionali. Però per

spiegare spostamenti del polo così grandi, bisognerebbe ricercare cause, che agiscano durante lungo tempo nel medesimo senso. I processi meteorologici non soddisfano a questa condizione; giacchè per quanto vediamo, le masse che li producono vengono spinte in qua e in là di spazi eguali a quelli che in senso opposto poi percorrono tornando alla prima posizione. Alcuni fatti poi, connessi con quelli mediatamente, avvengono sotto i nostri occhi sempre nella medesima direzione; fra questi sono i trasporti di masse terrestri, che vengono dai fiumi trascinate nei bacini marittimi. Waters opina che la quantità di materia annualmente trasportata a quel modo sia di più migliaia di millioni di tonnellate. Ma queste masse sono ancora insignificanti rispetto agli spostamenti ed ai sollevamenti, che i continenti subiscono oggi ancora od hanno subìto per azione dei processi geologici. Schwahn in Berlino ha calcolato che un sollevamento od una depressione del continente asiatico-europeo di solo 1 cm. deve produrre uno spostamento del polo di $0,_{12}$ metri, ed Haughton ha trovato che tutto il lavorio geologico di sollevamento di tutti i continenti esistenti, sopra il livello del mare, deve aver prodotto uno spostamento del polo di 111 km.

A queste azioni che hanno loro sede sulla Terra stessa, bisogna aggiungerne molte altre di origine cosmica, che sono una conseguenza dei rapporti variabili durante le epoche geologiche tra la Terra, la Luna ed il Sole; impareremo solo più tardi a conoscere la natura di tali relazioni. Però nelle condizioni a noi note gli effetti delle azioni cosmiche sui movimenti dell'asse terrestre nell'interno del globo, non possono essere stati molto superiori a quelli considerati precedentemente, mentre d'altronde devono avvenire anche delle reazioni, prodotte ad esempio da grandi ondate marine, verificantisi contemporaneamente a quei spostamenti di massa. Noi vediamo da tutto ciò che la questione delle variazioni della latitudine va complicandosi ognora più, quanto più si va esplorando questo campo, che offre i più ardui quesiti tanto alla teoria matematica quanto all'astronomia di precisione. All'avvenire è serbato di far luce completa sopra questo argomento.

Prima di chiudere la nostra trattazione della grandezza della Terra, dobbiamo ancora occuparci di una relazione di quantità del globo terrestre, che ha una parte importante nel computo dell'azione reciproca dei corpi celesti; vogliamo dire della determinazione della massa della Terra (*a*).

L'esperienza ha dimostrato, che l'attrazione emanante da un corpo è esattamente proporzionale alla massa che esso contiene. La massa della Terra attira un corpo che si trovi vicino alla sua superficie, in guisa che esso percorre nel primo minuto secondo di caduta uno spazio di m. $4,_9$; è affatto indifferente che il corpo pesi più o meno. Le differenze delle velocità di caduta che si avvertono nell'aria, provengono dalla diversa resistenza da essa opposta. Però rigorosamente parlando ciò non è esatto, giacchè, così come la Terra attira il corpo cadente, questo da parte sua attrae la Terra, così che anche questa cade verso quello; ma ciò avviene nel rapporto della massa del corpo a quella della Terra: cioè se il corpo

(*a*) [Le teorie matematiche per la determinazione della densità della Terra sono esposte per disteso nel libro di Ottavio Zanotti Bianco, *Il problema meccanico della figura della Terra.* (O. Z. B.)].

pesa un mezzo chilogramma, lo spazio, che la Terra percorre nella sua caduta verso il piccolo corpo, è uguale a $4,_9$ diviso per il numero dei chilogrammi, che rappresenta il peso della Terra. Evidentemente questo numero riesce così piccolo, che sfugge anche alle nostre più delicate misure. Se noi potessimo misurare realmente questo percorso di caduta, noi avremmo per così dire posto la Terra sul piatto di una bilancia e pesatala in chilogrammi.

Si riuscì per via indiretta a stimare il peso del globo terrestre. Per la prima volta ciò fu fatto con successo da Cavendish coll'aiuto di quella che è chiamata *bilancia di torsione*. Questo istrumento, che in concetto è molto semplice, consta di due piccole sfere poste alle estremità di una sbarra metallica sostenuta da un filo senza torsione, così da potersi muovere liberamente. Quindi ove si procuri che sulle sfere non operi alcuna causa perturbante, il braccio che le porta non si muove menomamente; ma se le si allontana con precauzione da questa posizione di quiete, esse a cagione della torsione del filo di sospensione cominciano ad oscillare in qua ed in là, finchè dopo un certo numero di oscillazioni ritornano al riposo. Il numero di queste oscillazioni è diverso a seconda delle varie resistenze che la torsione del filo deve superare durante quelle; ed in ciò l'istrumento reagisce sopra differenze estremamente tenui.

Se ora in vicinanza di una di queste sfere sospese, si colloca una massa pesante, la forza d'attrazione emanata da questa deve diminuire il numero delle oscillazioni compiute dalla sfera piccola, e ciò potè difatti essere osservato. Si è così trovata una misura di questa forza d'attrazione della massa pesante, che può senz'altro venir paragonata colla forza, colla quale la Terra attira a sua volta la massa perturbante. A questo modo con un grande numero di delicate misure, nelle quali si erano, con ogni cura, evitate tutte le influenze di perturbazione, Reich trovò nell'anno 1838 che la Terra pesa, in cifra rotonda, 118.000 trilioni di quintali. (Il quintale, *zentner* tedesco, vale cinquanta chilogrammi).

Noi non possiamo in alcun modo farci un'idea concreta di un tal numero, che deve però ancora riguardarsi come molto incerto; si è perciò preferito di dare, deducendolo dalle corrispondenti osservazioni, la densità media della Terra, invece del suo peso. Si dice che una materia è più densa di un'altra, se a parità di volume essa pesa di più. Come corpo di confronto serve l'acqua. Così, ad esempio, la densità del ferro è di $7,_8$; vale a dire un decimetro cubo di ferro pesa $7,_8$ kg., mentre a termini del sistema metrico, un decimetro cubo, ossia un litro d'acqua, pesa un chilogramma. Ora, dato lo scopo che ci prefiggiamo, noi possiamo conoscere con sufficiente esattezza il volume della Terra (stando alle dimensioni assegnate da Bessel alla Terra, quel volume è di 1.082.841.320.000 chilometri cubi), e quindi sappiamo anche quanto essa peserebbe, se fosse composta d'acqua. Quindi se noi dividiamo questo numero per il suo peso effettivo, otteniamo la densità media della massa terrestre, che dalle menzionate esperienze di Reich risulta di $5,_{44}$. Questo rapporto numerico fu determinato in molte altre maniere diverse, ed anche a mezzo delle deviazioni del filo a piombo che abbiamo già studiate. Queste sono, come noi già sappiamo, conseguenze di attrazioni particolari di masse e di montagne, che si trovano nelle vicinanze del luogo di osservazione. Ora, potendosi dal valore osservato delle deviazioni del filo a piombo ricavare il peso di tutta la massa montagnosa, che esercita quella

speciale forza d'attrazione, l'esperimento della bilancia di torsione sarà ripetuto su scala gigantesca.

La difficoltà sta nella determinazione del peso della massa montagnosa. Esso può solamente venir calcolato computando il suo volume e determinando la densità media delle roccie che costituiscono il monte. Il primo computo riesce con qualche sicurezza solo per monti di forma all'ingrosso regolare. Perciò Mendenhall scelse per questo scopo il famoso vulcano Giapponese Fuji-yama, che ha una forma conica eccezionalmente regolare, e che è composto, secondo ogni legittima previsione, di roccie provenienti del pari da eruzioni di vulcani. Le osservazioni diedero per la densità della Terra 5,77. Recentemente Richarz ha istituito delle misure dirette a diverse altezze, vale a dire a distanze differenti dal centro della Terra, colla bilancia di precisione, per determinazioni di tale densità. Wilsing poi ha adoperato a tale scopo in Potsdam un nuovo metodo, col quale fu assegnato al pendolo geodetico di precisione un nuovo còmpito. Si osservò l'effetto prodotto da una massa vicina sul numero delle oscillazioni del pendolo nell'unità di tempo, così che si potesse scindere l'attrazione speciale che emanava da quella massa dagli effetti della gravità terrestre. Le ricerche assai precise di Wilsing diedero per densità della Terra il numero 5,594 con un'incertezza di 0,8 per cento.

Sterneck in Vienna cercò ancora di risolvere questa questione per altra via, ed a tal fine istituì osservazioni del pendolo in una miniera. Ivi poteva eseguirsi alla rovescia l'esperimento istituito sulla montagna. La teoria insegna, che addentrandosi nella Terra, esercitano sempre un'attrazione soltanto quelle parti della sua massa che si trovano al disotto della superficie di livello, sulla quale sta la stazione di osservazione. Consideriamo per semplicità una sfera, se penetriamo in essa fino alla profondità di 1000 metri, ivi la forza d'attrazione della sfera agirà come se tutto il guscio sferico, che ci sovrasta, fosse stato staccato ed allontanato dalla Terra. Questa proprietà si può trovare sommando (integrando) tutte le azioni attrattive esercitate da quel guscio sferico sul punto d'osservazione. Le masse sovrastanti all'osservatore e che agiscono in senso opposto alla gravità, sono molto più piccole di quelle poste nell'altra parte del guscio, ma molto più vicine. La legge del decrescimento dell'attrazione in ragione inversa del quadrato della distanza, dal centro del corpo attraente, sussiste sempre, mentre si è soltanto la massa stessa che diminuisce. Al centro della Terra, tutta la massa di questa ci sovrasterebbe, ed è perciò che ivi l'attrazione deve essere nulla; ciò si vede anche riflettendo, che colà la massa è ugualmente distribuita a noi d'intorno ed agisce da tutte le parti in modo identico. Accostandosi a questo centro della Terra, due fattori agiscono sulla gravità in senso opposto: essa va diminuendo, perchè la massa che si considera va divenendo minore; mentre cresce, perchè ci avviciniamo al centro della Terra; inoltre varia anche l'azione opposta della forza centrifuga, in causa del divenir più ristretti dei cerchi a percorrersi. A cagione dell'azione concomitante di queste influenze, ha il predominio, come Helmert ha calcolato, l'influenza dell'approssimarsi al centro della Terra fino ad una profondità di 0,18 parti del raggio terrestre, così che la gravità cresce fino ad 1,05 del suo valore alla superficie e quindi diminuisce di nuovo regolarmente fino al centro della Terra.

Se ora a diverse profondità lungo un pozzo di miniera, si fanno delle osservazioni col pendolo, deve risaltare il corrispondente aumento della gravità. Ma

questo aumento dipende ancora in modo speciale dalla densità media degli strati, attraverso ai quali si va esperimentando, e che secondo le considerazioni premesse vanno gradatamente cessando di agire attrattivamente. A questo modo si trova il rapporto dell'influenza del pendolo sulle oscillazioni degli strati superiori della crosta terrestre a quella del nucleo terrestre sottostante sulle oscillazioni medesime. Noi conosciamo la densità di questi strati superiori; a mezzo quindi di questo ordine di ricerche noi possiamo dedurre qualche conclusione sulla densità del nucleo. Sterneck istituì osservazioni di questa fatta nel pozzo Adalberto della miniera d'argento di Przibram, profondo 1000 metri, e le eseguì a tre diverse profondità e trovò per densità media della Terra 5,776.

Dai differenti risultati addotti si può vedere che il vero valore di quella densità è compreso fra 5,5 e 5,8. Ma poichè gli strati rocciosi della crosta terrestre, per quanto sono accessibili alla nostra indagine diretta, hanno una densità molto minore, assai vicina a 3; e che diviene ancora di molto inferiore, quando si tenga conto dell'involucro acqueo della Terra, così si conchiude che il nucleo terrestre deve essere costituito da sostanze molto più dense di quelle che formano la crosta superficiale. Si giunge a numeri che stanno fra 7 ed 8, cioè quasi alla densità del ferro, lo stesso metallo che l'analisi spettroscopica degli spazi celesti ci ha mostrato ovunque presente. Non può più quindi sussistere dubbio che anche il corpo celeste da noi abitato sia in massima parte costituito da quel metallo. In realtà, quanto più noi discendiamo verso il nucleo interno della Terra, andiamo imbattendoci ognor più in minerali contenenti ferro, o generalmente in istrati ricchi di metalli. D'altronde anche soltanto per effetto della pressione delle masse rocciose sovrastanti, la densità deve andar crescendo nell'interno della Terra, anche quando essa fosse ovunque costituita dalle sostanze medesime. Laplace, Helmert ed altri calcolarono la densità del centro della Terra richiesta da questo stato di cose; Helmert trovò per essa il valore 11,3.

Nel corso delle considerazioni sulla forma e grandezza della nostra abitazione terrestre, emersero sempre più nella costituzione di essa dei tratti, che svelarono la sua intima affinità coi corpi celesti planetari, che vedemmo popolare d'ogni parte il firmamento intorno a questo nostro punto di osservazione. Per poter annoverare fra essi anche la Terra, dobbiamo rappresentarci meglio i suoi movimenti rispetto al Sole.

[In una nota a pagina 493 fu detto, che l'espressione *metro assoluto* non regge affatto; è venuto ora il momento di dimostrarlo. L'autore scrive che oggidì si sa che il metro della Convenzione è più corto del metro assoluto, secondo la sua primitiva definizione, di $^1/_{25}$ di linea parigina. In questa proposizione è ammesso implicitamente, dato quanto precede nel testo, che il metro assoluto, cioè la quarantamillionesima parte del meridiano terrestre, debba avere la lunghezza risultante dai calcoli di Bessel e dalle dimensioni della Terra adottate in base a questi calcoli. Ora è facile il vedere, che queste dimensioni, sebbene oggidì ancora generalmente usate, non hanno nulla di assoluto. E valga il vero, dopo la pubblicazione dei lavori di Bessel (1841), furono istituite molte altre misure di gradi di

longitudine e latitudine nell'emisfero boreale terrestre, e con esse calcolate le dimensioni della Terra, che risultarono diverse da quelle di Bessel. Oggi più che mai si proseguono ovunque con attività i lavori geodetici: fra qualche anno saranno compiuti quelli in corso in Europa, e forse anche quelli destinati a ripetere la misura dell'arco del Perù. Con questi nuovi elementi, verranno dedotte le dimensioni dello sferoide terrestre, dalle quali risulterà certamente un meridiano di lunghezza differente da quello di Bessel: lo stesso avverrà sempre in avvenire, con nuove misure e nuovi calcoli. Quindi nulla di assoluto vi è nel metro di Bessel, e fu savio consiglio stabilire, che il metro abbia per sempre la lunghezza di quello degli archivi di Parigi, e che, costrutto e curato come oggidì è, offre tutte le garanzie di una perfetta e lunghissima conservazione: esso dicesi metro internazionale. La lunghezza del meridiano risultando diversa ad ogni nuovo computo della grandezza della Terra, la decimillionesima parte del quarto di esso, che secondo la definizione è il metro, sarà differentemente lunga dal metro internazionale. Questa differenza dicesi l'errore del metro, corrispondente a date dimensioni terrestri. Stando alle più recenti misure geodetiche la decimillionesima parte del quarto del meridiano terrestre è più corta del metro legale ed internazionale di circa metri 0,0002. (O. Z. B.)].

SULLO STATO PRESENTE DEI LAVORI GEODETICI IN ITALIA

(Aggiunta del Traduttore).

In Italia tutto quanto concerne la formazione della carta geografica del Paese è affidato all'*Istituto Geografico Militare*, che ha sede in Firenze: esso conta anche impiegati civili. La direzione dei lavori geodetici è in Italia affidata ad una Commissione Geodetica. Essa è attualmente presieduta dal senatore Annibale Ferrero, generale comandante il Corpo d'armata di Milano e vice-presidente dell'Associazione Geodetica Internazionale, della quale si è parlato nel testo: il vice-presidente ne è l'ingegnere Giovanni Celoria astronomo all'Osservatorio di Brera in Milano e professore di Geodesia all'Istituto Tecnico Superiore della Città medesima. La Commissione Geodetica Italiana è in relazione, anzi meglio è parte dell'Associazione Geodetica Internazionale, così che i membri di essa sono pure membri di questa. La Commissione Italiana ha per iscopo di eseguire in Italia la parte che a questa spetta dei lavori geodetici stabiliti dall'Associazione Geodetica Internazionale; ed a tal fine si vale del personale dell'Istituto Geografico Militare, degli Osservatori astronomici e della R.ª Marina.

I lavori geodetici consistono essenzialmente in quanto segue:

I. Tracciamento, misura e calcolo della rete trigonometrica; in questa sono comprese le misure di basi.

II. Livellazione di precisione.

III. Determinazioni di longitudine, latitudine ed azimut, nei punti più importanti della rete trigonometrica. I punti, nei quali furono determinate tutte e tre quelle coordinate, diconsi *punti di Laplace*, in virtù di un teorema di quel celeberrimo matematico, che stabilisce una relazione fra esse.

IV. Determinazione del livello medio del mare.
V. Determinazione della gravità.

A questi lavori essenziali se ne connettono molti altri importantissimi e fra essi specialmente lo studio delle variazioni della latitudine e della rifrazione, la determinazione delle altezze sul mare e delle attrazioni locali. Ci proponiamo di vedere brevemente quale sia lo stato attuale di questi lavori in Italia.

Tracciamento, misura e calcolo della rete trigonometrica. — La rete italiana, la quale per un'ampiezza di circa 10 gradi di latitudine concorre alla misura di un grande arco di meridiano terrestre, oltre ad essere collegata colle triangolazioni estere dalla parte della frontiera alpina si riattacca pure a traverso l'Adriatico alla triangolazione austriaca delle coste e delle isole dalmate ed albanesi e raggiunge pure le coste africane della Tunisia.

Si ha pure in animo di collegare trigonometricamente al Continente l'isola di Sardegna, la cui rete trigonometrica appoggiata ad una base misurata in prossimità di Ozieri, e riferita alla stazione astronomica di Cagliari, costituisce oggi un tutto a sè. Finora questo collegamento non è stato realizzato.

I lavori per la misura della rete furono iniziati nel 1863. L'annessa carta dimostra il loro stato nel settembre 1895. Da questa carta appare pure che si sono misurate sette basi, oltre quella di Ozieri, già ricordata, ed una piccola base di circa 700 metri, misurata nel 1862 presso Napoli, allo scopo di appoggiarvi una triangolazione necessaria al rilevamento della città, e che fu poi anche collegata alla triangolazione generale del Regno.

Questa triangolazione di primo ordine che consta di 366 vertici di triangoli ripartiti presso a poco uniformemente su tutto il territorio italiano, serve poi di sostegno a tutte le altre triangolazioni secondarie che occorrono ai rilievi ed alle operazioni di campagna indispensabili alla formazione della carta topografica del nostro Paese. Il disegno di questa carta è lo scopo principale dell'Istituto Geografico Militare, che un illustre astronomo francese ha chiamato uno dei migliori d'Europa.

Parlando di questi rilevamenti non vogliamo passare sotto silenzio il metodo molto acconcio ad essi, detto fototopografico o fotogrammetrico, introdotto in Italia e molto perfezionato dall'ingegnere geografo Pio Paganini, che tanto meritato favore va incontrando anche all'estero. Per il suo foto-teodolite, l'ingegnere Paganini si ebbe un'alta onorificenza all'Esposizione Italiana del 1898 in Torino. Così è bene ricordare gli studi telefotografici (fotografia a distanza) del prof. Roster e del capitano Mariani.

Il senatore Annibale Ferrero è da molti anni incaricato di riferire sulle triangolazioni geodetiche di tutto il mondo alle riunioni dell'Associazione Geodetica Internazionale, ed i suoi ponderosi rapporti su quell'argomento, costituiscono il documento più autorevole che intorno ad esso si possa consultare.

Non si pensi che il condurre a termine una triangolazione sia cosa semplice e liscia, tutt'altro. Lasciamo i calcoli ed i disegni, che pur richiedendo pazienza ed intelligenza nell'applicazione delle formole, si fanno negli uffici tranquillamente, e guardiamo ai lavori di campagna. Prima occorre riconoscere il terreno, quindi ascensioni di montagne, spesso ardue, salite su torri e campanili: vengono poi le misure d'angoli. Per esso è necessaria lunga permanenza (spesso di un mese)

su vette alpine, ove l'energia, la resistenza alle intemperie, la costanza sono qualità indispensabili all'osservatore, che per riuscire deve sopportare disagi gravi ed affrontare pericoli: e non sono rari i casi di morte incontrata nel penoso adempimento del dovere. A questo proposito mi si consenta di qui riportare le belle parole dell'egregio ingegnere geografo L. Vitale.

« E prima di por fine a questa breve memoria, ci sia concesso, non avendo potuto far singolare menzione dei molti operatori i quali sfidando ogni sorta di disagi e di pericoli sulle vette dei monti, come sui terreni di malaria, compensati solamente dalla propria coscienza pel compiuto dovere hanno contribuito alla raccolta di così ingente materiale scientifico, ci sia concesso, ripetiamo, di deporre qualche fiore sulle tombe del capitano Fergola, dell'ingegnere Domeniconi, dell'ingegnere Mansueti e dell'ingegnere Cloza, che perderono la vita sul lavoro e per causa del lavoro. Il primo ed il secondo caddero fulminati sulle stazioni trigonometriche che stavano compiendo, il terzo precipitò in un burrone mentre si trasferiva da una cima all'altra dei monti che doveva percorrere per compiere il lavoro assegnatogli in Val di Livigno, ed il quarto morì per febbre malarica nella Colonia Eritrea ».

Queste ultime parole esigono qualche spiegazione.

Governanti d'Italia, non so se più inetti o più insani, ci condussero in Africa ed alle disfatte di Dogali e di Abba Garima: non causa ultima delle quali fu la scarsissima conoscenza del paese e la mancanza di buone carte, per colpevole negligenza di chi sovraintendeva a quella malaugurata impresa. L'Istituto Geografico Militare intraprendeva nel 1896 la compilazione di una grande carta orografica della colonia Eritrea: si è durante i lavori relativi ad essa che l'ingegnere Cloza trovò immatura morte.

Livellazione di precisione. — Questa operazione si eseguisce con quell'istrumento che è detto livello a bolla d'aria ed a cannocchiale, e con tutte le precauzioni possibili, onde eliminare le numerose cause d'errore che possono influire sulla sua esattezza. Essa ha per iscopo di determinare la differenza d'altezza dei vari punti della regione, fra loro e sul livello dei mari. Diremo più avanti che cosa sia questo livello medio, e come materialmente ad esso si riferisca la livellazione. Questo metodo di livellazione che pur sale sino a colli elevati quali il Moncenisio e l'Argentera, non è applicabile alle altre vette per le quali serve la livellazione trigonometrica e con molto minor precisione quella barometrica.

La rete fondamentale italiana della livellazione di precisione consta principalmente di due grandi linee litoranee. Una parte dal Ponte S. Luigi presso Ventimiglia (ove si collega colla rete francese) segue il litorale mediterraneo congiungendo i mareografi di Genova, Livorno, Civitavecchia e Napoli (diremo più avanti cosa siano i mareografi). L'altra staccasi dal confine austro-ungarico di Pontebba e di Strasoldo (ove si collega colla rete austriaca), e passando per i mareografi di Venezia, Porto Corsini e Bari si spinge nella provincia di Lecce per ritornare a Bari, donde per Potenza si congiunge in Napoli coll'altro ramo. La penisola intiera è poi attraversata da altre linee di livellazione. Da Potenza si stacca una linea che per Cosenza-Catanzaro si spinge a Reggio. La Sardegna e la Sicilia sono pure percorse da linee di livellazione. Buona parte di questa grande operazione geodetica è eseguita, altra è in corso e fra non molti anni sarà ultimata. Oltre che essere collegata colle livellazioni austro-ungariche e francesi, quella d'Italia

si congiunge in varii punti con quella svizzera. Ciò è di somma importanza per la determinazione della differenza di livello fra i vari mari, e per lo studio generale della figura della Terra.

Determinazione del livello medio del mare. — Ora ci occorre dire quale sia la superficie di livello, alla quale si riferiscono, come a punto di partenza o di origine, tutte le livellazioni di precisione e le altre del pari, e le conseguenti *altezze sul livello del mare* che espresse in metri si leggono in tutte le pubblicazioni.

Il mare, lo si sa, è di continuo in moto: che cosa s'intende dunque per suo livello medio? Per livello medio s'intende quella posizione dell'acqua che corrisponde idealmente ad uno stato di riposo relativo, effetto di un'eliminazione ideale del pari di tutte le cause che mettono in movimento l'acqua del mare. Si cercò quindi se fosse possibile di ottenere in qualche modo, lungo la costa, la distanza da un caposaldo fisso di un pelo liquido fittizio ideale, che fosse ricavato da quello reale, eliminando da questo con misure molte e molte volte ripetute e con computi di medie le cause naturali perturbatrici, e che rappresentasse quindi un livello ipotetico, il meno possibile discosto dal *geoide*. Si pensò che se si riuscisse a misurare od a far registrare da apparecchi un grandissimo numero di distanze da un caposaldo del pelo liquido reale in luoghi convenientemente scelti, la media di tutte queste misure potrebbe rappresentare assai da vicino la distanza dal caposaldo del livello fittizio medio, ideale desiderato. Questo livello fu chiamato il livello medio del mare: esso viene così definito: *In un punto dato della costa il livello medio del mare è il livello corrispondente alla media delle distanze del pelo liquido da un piano orizzontale fisso, misurate e dedotte da apparecchi registratori in ogni istante di un determinato lasso di tempo.* Tanto più lungo sarà questo tempo, tanto più il *livello medio* sarà prossimo al *geoide*, e ciò perchè in un lungo intervallo di tempo è più facile che si verifichino nelle condizioni del mare circostanze opposte, e che quindi agiscono nella media in modo da elidersi e da eliminare più facilmente le cause di perturbazione. Nella mente dei geodeti il *livello medio* testè definito è la superficie più prossima al geoide, della quale si possa praticamente avere una materiale rappresentazione, con un piano o con un tratto inciso in una lastra. È indispensabile riferire la posizione del *livello medio* ad un caposaldo o corpo fisso invariabile, per poter effettivamente cominciare da esso la livellazione, o ad esso collegare quell'altro punto nel quale si possa collocare l'asta graduata che serve a livellare.

Vediamo ora rapidissimamente come si riesca ad ottenere la distanza da un caposaldo del *livello medio del mare*: per ciò fare ne è d'uopo una breve disamina delle cause che producono il moto ondoso del mare.

Vi sono cause perturbatrici del riposo delle acque marine, che agiscono in modo periodico, altre in guisa che nello stato attuale della scienza appare irregolare e saltuario e non vincolato da periodo di sorta.

È periodica con periodo *semi-diurno* la marea *luni-solare*. La marea giornaliera dissimula un'onda *semi-mensuale* molto meno importante, dovuta alle variazioni della declinazione della Luna, nella rivoluzione di quest'astro attorno alla Terra. Essa nasconde ancora un'onda semestrale cagionata dal variare della latitudine del Sole colle stagioni. Questi movimenti a loro volta subiscono poi tutti modificazioni di ben più lungo periodo, prodotte dalle secolari variazioni delle orbite

terrestre e lunare. Sonvi altri movimenti periodici, provenienti dall'atmosfera. Debolissime sono le maree prodotte nell'atmosfera dalle attrazioni del Sole e della Luna, quindi insignificante, ma non nullo il loro effetto sul livello del mare. Lo stesso può dirsi, salvo casi rari di altissime pressioni, delle variazioni di pressione constatate a mezzo delle oscillazioni diurne ed annue del barometro. Sono poi periodiche le perturbazioni che al mare cagionano i venti periodici (alisei, monzoni, brezze di terra e di mare): è certo che una parte di quelle derivanti dall'evaporazione è periodica e legata al regolare avvicendarsi delle stagioni. Dalla evaporazione poi si origina certo qualche lieve mutamento nella salsedine, e conseguentemente nella densità dell'acqua.

Non si conoscono vicende periodiche alle correnti marine, sebbene l'essere desse in parte originate dalle correnti generali dell'atmosfera, ed al ritmico avvicendarsi di alte e basse temperature, e quindi di maggiore o minore evaporazione, non scompagnata da un alterarsi della salsedine, possa far nascere il sospetto che qualche parte dell'istoria loro sia a quei periodi connessa.

Sono poi irregolari affatto i movimenti del mare derivanti dai venti, cicloni, tempeste che sorgendo improvvisi agiscono a salti. Così variabile è l'immissione dei fiumi nel mare, dell'erosione delle coste e dell'impedimento da queste opposto al propagarsi delle varie onde. Varia pure, quantunque nella sua causa si ritenga continuo, l'effetto dei movimenti lenti del suolo, che al fondo del mare e sulle coste, ora per innalzamenti o depositi si solleva, ora per abbassamenti od escavazioni si deprime. Brusca poi ed a scatti è l'azione dei terremoti e dei vulcani. Risultante dall'azione di tutte queste cause (astraendo da quelle trascurabili della navigazione) è lo stato del mare in un determinato istante: così la posizione del pelo liquido di esso ne sintetizza ad ogni istante la sua istoria. Gli apparecchi ora in uso per riferire ad un caposaldo il livello dell'acqua sono i seguenti: L'idrometro ordinario a misura diretta; per ricerche speditive e di breve durata serve il flussometro, che richiede ancora osservazioni dirette. Servono meglio, ed oramai unicamente, agli scopi geodetici gli apparecchi a registrazione automatica continua detti mareografi semplici o totalizzatori, dei quali si hanno molti modelli, e i medimarimetri di Lallemand. Non è possibile qui descrivere in dettaglio questi apparecchi, accontentiamoci di un cenno sommario. Un galleggiante sta sospeso sull'acqua marina, in un luogo appartato, i suoi movimenti sono trasmessi a mezzo di leve e rotismi a matite o penne che tracciano sopra una carta una curva corrispondente a quei movimenti. Questa curva è riferita ad una linea fissa che corrisponde alla posizione di un dato piano orizzontale, materialmente individuato. I procedimenti di calcolo e grafici permettono di dedurre da quelle curve e per ogni mese, la posizione media dell'acqua rispetto a quel piano fisso. Ciò facendo per anni ed anni si ottiene una tale posizione che è quella del *livello medio* cercato. Naturalmente questa distanza corrisponderà tanto più da vicino al livello medio, quanto più grande sarà il numero d'anni durante i quali si saran fatte le misure all'*idrometro* od al *flussometro*, o saranno stati in azione gli apparecchi a registrazione continua.

In Italia sono in attività apparecchi di tal genere nei luoghi seguenti: Ancona, Bari, Cagliari, Catania, Chioggia, Civitavecchia, Fano, Genova, Livorno, Maddalena, Messina, Napoli, Palermo, Pesaro, Porto Corsini, Porto Maurizio, Ravenna,

Rimini, Savona, Spezia, Taranto, Venezia. In taluni di questi luoghi al mareografo sta vicino una stazione meteorologica; tutti dovrebbero averla. Sono già collegati alla livellazione di precisione i mareografi di Genova, Livorno, Civitavecchia, Napoli, Ravenna, Venezia, Chioggia, Porto Corsini, Porto Maurizio, Taranto, Messina, Catania, e gli altri, nonchè i cosi detti *bolloni* o segni indicanti il Comune Marino (media alta marea) stabiliti di recente ed in numero considerevole per cura del Genio Civile di Venezia nella Laguna veneta.

Fino al 1896 il servizio mareografico dipendeva dal Ministero dei lavori pubblici ed era affidato al Genio Civile; dall'aprile di detto anno passò sotto la direzione del Ministero della guerra, ed è affidato all'Istituto Geografico Militare, al quale sono pure inviati i dati dei mareografi appartenenti all'Ufficio Idrografico della R. Marina.

Dallo spoglio dei documenti riuniti così all'Istituto Geografico si dedurrà poi a suo tempo un orizzonte fondamentale di riferimento che verrà poi collegato a mezzo della livellazione di precisione con quelli delle nazioni vicine. Intanto per i bisogni della pratica venne assunto come origine provvisoria delle livellazioni e quote altimetriche quello che risultò prendendo la media delle medie annuali del periodo di otto anni, dall'ottobre 1883 all'ottobre 1891 in Genova. Questo livello medio fu riferito alla *platina*, piastrina fissa del mareografo, di Genova che risultò alta sul livello medio di metri $3{,}0031$. Vicino al mareografo è fisso un caposaldo che fu pure riferito al livello medio.

Da confronti istituiti fra i dati fin qui raccolti (provvisori, i definitivi non furono ancora resi di pubblica ragione) pare che fra i livelli medi dei mari che bagnano le coste italiane non vi siano dislivelli apprezzabili, come già si riteneva, fin dal 1843, dall'ingegnere Marieni.

Paragonando poi il livello medio del Mediterraneo e dell'Adriatico con quello dei mari settentrionali d'Europa, pare risulti che quello sia d'alcun poco (pochi centimetri) al di sotto delle acque medie del Baltico, del mare del Nord e della Manica. Questi risultati però sono ancora molto incerti, e si può dire che per parecchi anni ancora nulla di certo si saprà al riguardo.

Coordinate geografiche od astronomiche dei vertici della rete trigonometrica italiana. — Come è detto nel testo la geodesia insegna a calcolare la posizione geografica dei vari vertici di una rete trigonometrica, quando si conosca la posizione di uno di essi determinata astronomicamente, e si ammetta come figura della Terra un dato ellissoide. Le due ellissoidi per tale scopo oggidì più usate sono quella di Bessel e quella di Clarke. Per comodità, esattezza e controllo, e per lo studio di molte questioni scientifiche importanti, invece di riferire tutti i vertici di una rete trigonometrica ad un solo e medesimo punto di posizione nota per determinazioni astronomiche dirette, si usa riferirli ad alcuni di essi scelti convenientemente. In questi, che sono ordinariamente osservatorî astronomici, si determinano la longitudine, la latitudine e l'azimut di uno o più altri vertici. In Italia la latitudine fu misurata a Torino, Milano, Genova, Parma, Padova, Firenze, Livorno, Roma (in tre luoghi — Monte Mario, Campidoglio, Collegio Romano), Termoli Napoli (Capodimonte e Pizzo Falcone), Potenza, Crea, Catania, Messina, Pachino, Palermo, Estremo Nord-Ovest della Base di Lecce. Si determinarono le differenze di longitudine tra Milano e Parigi, Neuchâtel, Sempione, Monaco di Baviera, Vienna,

Padova, Torino, Genova, Crea, Nizza, Roma, Napoli, Parma, Solferino; tra Padova e Monaco di Baviera, Vienna, Firenze, Roma, Bologna, Termoli; tra Roma e Napoli (due volte), Firenze, Genova, Cagliari; tra Napoli e Termoli, Palermo, Pachino; tra Cagliari e Guardia Vecchia; Genova tra Firenze e Bologna; tra Genova e Guardia Vecchia (Isola della Maddalena). Non tutte queste determinazioni sono pubblicate, ma lo saranno fra breve: lo stesso può dirsi per molte determinazioni di azimut.

Se per un dato punto ove si sono determinate astronomicamente la longitudine e la latitudine, si calcolano col trasporto geodetico, queste coordinate, la differenza fra quelle prime e queste costituisce quello che si dice *deviazione della verticale (o del filo a piombo)* in longitudine e latitudine. Queste che dipendono dalla costituzione interna e conformazione esterna della Terra, ci mostrano quanto il geoide diversifichi dall'ellissoide posta a base dei calcoli geodetici. Così è che la deviazione della verticale in longitudine tra Milano e Torino nel senso Est Ovest è di 33″. Così pure tra Andrade e Mondovì, estremità dell'arco di Beccaria, si ha una deviazione in latitudine di 48″; altre deviazioni si verificano in altre parti, come tra Milano e Parma, in latitudine. Questa di 20″ e più, non può essere spiegata colle attrazioni delle montagne, essendo il terreno fra le dette città perfettamente piano, e trovandosi queste a tale distanza dalle Alpi e dagli Appennini, che non permette di considerare l'influsso delle loro masse esteriori come capace di produrre sì grande effetto. Di questo pertanto la causa non può essere ricercata che in grandi anomalie della densità sotterranea sotto la pianura centrale del Po, e probabilmente in una densità deficiente nella regione compresa fra quelle due città. In molti luoghi d'Italia si verificano altre deviazioni che ci possono dare le più utili indicazioni sulla costituzione del sottosuolo delle regioni ove esse si verificano.

Nel versante settentrionale delle Alpi presso Monaco, le deviazioni sono molto più piccole di quello che si potrebbe sospettare, avuto riguardo al profilo di quelle regioni, molto più grandi per contro nel versante meridionale e nella pianura del Po.

Le azioni locali pare tendano ad avvicinare le verticali alla cresta delle Alpi nelle stazioni traspadane; nell'Emilia invece la deviazione pare sia prevalente verso mezzodì e prosegue a crescere anche oltre l'Appennino.

Minori sono le deviazioni incontrate nell'Italia Centrale e Meridionale, ma sempre molto irregolari; quasi nulle a Li Foi in Basilicata, a Lecce presentano il valore di 2″ verso Nord, ed a Termoli di 12″ verso Sud; leggerissime o quasi nulle a Napoli ed a Monte Mario presso Roma, hanno un piccolo valore pel Campidoglio e pel Collegio Romano. Per Firenze e per Pisa il Dr Helmert crede che le deviazioni trovate abbiano luogo nel senso contrario all'attrazione della massa visibile dell'Appennino, e poichè a Roma ed a Napoli quest'effetto è distrutto, vi deve essere una causa, probabilmente sotterranea, di azione locale tra queste città e la Toscana.

Determinazioni della gravità. — Queste pure servono a darci notizia della costituzione del sottosuolo. Di queste determinazioni ve ne hanno di due sorta, *assolute* cioè e *relative;* vediamo in che consistano. Dicesi *determinazione assoluta della gravità,* quella che deduce il valore della gravità da una misura diretta

della lunghezza del pendolo che batte i secondi di tempo medio. Dicesi *determinazione relativa* quella che ricava il valore della gravità in un luogo da quella della gravità preventivamente e direttamente determinata in un altro luogo. Quelle determinazioni di cui si parla nel testo, eseguite col pendolo di Sterneck, sono *relative* e riferite alla gravità a Vienna, ove fu determinata direttamente.

Le determinazioni relative della gravità sono molto più facili e brevi di quelle assolute; esse si possono quindi ripetere in molti luoghi con poca spesa. La teoria insegna che i valori della gravità in due luoghi differenti stanno fra di loro come i quadrati della durata di un'oscillazione di un medesimo pendolo trasportato e fatto oscillare nei due luoghi. Se quindi in un luogo ove sia stata determinata la gravità assoluta si determina la durata di un'oscillazione di un dato pendolo, trasportando questo in un altro luogo, ed ivi determinando la durata della sua oscillazione, a mezzo della proprietà accennata si avrà subito la gravità in quel luogo. Questo è il principio ora tanto applicato alle determinazioni relative della gravità.

In Italia si ebbero misure della gravità istituite nel 1821 da Carlini, nel 1825 da Biot, nel 1850 da Secchi. Più recentemente la gravità assoluta fu determinata da Respighi, Pucci e Pisati a Roma, le osservazioni di questi sperimentatori furono ricalcolate dal prof. Rejna, da Lorenzoni a Padova.

In questi ultimi anni poi le determinazioni della gravità relativa, col pendolo Sterneck, vennero moltiplicandosi per opera degli ufficiali della marina austriaca, e di incaricati dalla Commissione Geodetica Italiana, e di ingegneri dell'Istituto Geografico Militare. Il prof. Riccò ne istituì per proprio conto nei dintorni dell'Etna. Riassumiamo brevemente le conclusioni che quelle osservazioni permettono di formulare.

Vi sono regioni in cui la gravità osservata supera la gravità normale, che è quella calcolata dal complesso di molte osservazioni a mezzo della formola di Clairaut, in funzione della latitudine e di alcuni coefficienti numerici, dedotti appunto dal complesso di molte osservazioni col metodo dei minimi quadrati. Vi sono per contro regioni in cui la gravità osservata è inferiore alla normale, altre in cui quella concorda con questa entro i limiti delle osservazioni. Una linea che percorra la regione della gravità normale circonda il mare Adriatico, per lo più tenendosi entro terra a poca distanza dalla costa: soltanto in due punti si ritira molto entro terra, cioè nella direzione di Padova e di Verona a Nord-Ovest; e a Nord-Est nella direzione di Lubiana fra Gorizia e Trieste. Entro questa linea, e pertanto sopra tutto l'Adriatico, la gravità è in eccesso. Nel mezzo dell'Adriatico ove la profondità è massima, vi è un eccesso di gravità tanto maggiore, quanto maggiore è la depressione del fondo. Nella parte meridionale al di là del Gargano, dove l'Adriatico è molto più profondo, si manifestano anche eccessi di gravità molto maggiori.

La regione nella quale la gravità osservata supera la normale esce in due luoghi dal perimetro dell'Adriatico, nella direzione di Nord-Est, e in quella di Nord-Ovest. L'estensione che ha luogo verso Padova e Verona si connette coll'eccesso di materia scoperto da von Sterneck sotto le Alpi di Trento, e sotto la pianura che da esse si estende fino a Mantova. A partire da quella linea che racchiude la regione di gravità eccedente, e lungo la quale la gravità è normale, si allargano

regioni di gravità inferiore alla normale, e di sottosuolo di densità deficiente. Queste regioni si spingono verso il Nord sopra tutta la massa alpina fino a Monaco di Baviera; in Italia arrivano almeno fino a Milano, ma lungo la penisola non occupano una grande larghezza, perchè già a Roma ed a Fabriano si ha gravità eccedente.

Notevole è l'eccesso che la gravità assume nelle Puglie, nelle terre di Bari e di Otranto, e sulle rive della Campania. A Viesti ed a Bari, nelle isole d'Ischia e di Capri, la gravità eccede la normale, di guisa che ivi un peso di sei chilogrammi vi riesce aumentato di un gramma intero. Tutto il sottosuolo della Bassa Italia, almeno fin dove arrivano le osservazioni, sembra composto, fino a grande profondità, di materiali di densità eccedente.

I lavori del prof. Riccò in Sicilia condussero a questi fatti. Lungo il litorale da Messina a Catania, la gravità è in eccesso, come lo è in prossimità del Monte Lauro, con un leggiero aumento verso la sommità di questo monte, aumento che andrebbe fortemente diminuendo attorno all'Etna col procedere verso la vetta ove è quasi nullo. Questo risultato, secondo il prof. Riccò, è spiegabile coll'ammasso basaltico del Monte Lauro, che spinge le sue profonde e compatte radici anche al disotto della pianura di Catania e di Val di Noto. Le deficienze di massa attorno e sopra l'Etna sarebbero dovute a spazi, all'intorno e sotto, rimasti liberi per il fatto della circolazione e dell'espansione delle materie fluide esistenti in quei sotterranei immensi.

Variazione della latitudine. — Il prof. Fergola, direttore dell'Osservatorio di Capodimonte in Napoli, è incaricato di osservazioni per lo studio delle variazioni della latitudine, connesse con altre che si vanno eseguendo a New York con uno strumento identico al suo. Per deliberazione presa dall'Associazione Geodetica Internazionale nella sua riunione del 1898 a Stoccarda, una stazione per lo studio di quel fenomeno sarà stabilita a Carloforte nell'isola di San Pietro (Sardegna).

(O. Z. B.)].

[Nella nota *(b)*, a pagina 473, fu scritto che la costanza della gravità non è assoluta: vediamone le ragioni. La gravità è una forza risultante dall'attrazione delle masse componenti il globo terrestre, e dalla velocità del moto di rotazione della Terra intorno al proprio asse, che produce la forza centrifuga la quale agisce in modo da diminuire quell'attrazione. Questa a sua volta dipende dalla distribuzione delle masse attraenti. È facile ora vedere come tale distribuzione vada di continuo cambiando. La meteorologia ci insegna quali e quanti siano gli spostamenti che l'aria subisce, la geologia ci descrive quelli ora lenti ora violenti del sottosuolo e delle roccie superficiali: la geografia c'insegna come si muovano i ghiacciai, ed i fiumi trasportino al mare ingenti volumi di terre e limo: sono note le vicende dei ghiacci polari connesse colle stagioni, ecc. In conseguenza di tutti questi movimenti periodici e non aggiunti a quelli del mare nelle maree, deve colla distribuzione della massa variare di continuo la direzione e l'intensità della gravità, le quali variano poi anche al variare della forza centrifuga. Questa neppure è costante: l'attrito delle maree, il raffreddamento e concomitante restringimento della Terra diminuiscono lentissimamente, ma continuamente, la velocità del moto diurno e

quindi la forza centrifuga. Quindi la gravità non è costante, pur astraendo da altre cause di sua variabilità, quali l'urto colle stelle cadenti che giorno e notte cadono sulla Terra, e l'azione di forze elettro-magnetiche o d'altra natura ora a noi ignote. Le esperienze col pendolo, quando saranno divenute abbastanza esatte, dal che ora siamo ancora assai lontani, potranno indicarci le variazioni della gravità nel tempo, come ora quelle col telescopio cominciano a rendere manifeste le fluttuazioni della latitudine (*a*).

(O. Z. B.)].

3. — I movimenti apparenti del Sole e la divisione del tempo. Precessione e nutazione. Determinazione della posizione di una nave in mare.

Se, col metodo medesimo insegnato nel capitolo precedente per le stelle fisse, si tien dietro col circolo meridiano al movimento apparente del Sole, noi riconosciamo subito che l'astro del giorno non conserva per nulla una posizione fissa sulla vôlta celeste, il che era già conosciuto da lungo tempo ed era stato avvertito a mezzo delle superficiali osservazioni della lunghezza dell'ombra col gnomone. Mentre le stelle fisse non cambiano la loro ascensione retta e la loro declinazione, queste coordinate variano per il Sole sistematicamente ad ogni passaggio al meridiano; ciò è già reso manifesto dalla variazione delle altezze del Sole a seconda delle stagioni, mentre noi sappiamo che le stelle fisse tramontano ogni anno alla medesima altezza, che dipende soltanto dalla loro distanza dall'equatore e dalla latitudine geografica del luogo di osservazione.

Le osservazioni meridiane del Sole debbono naturalmente venir sempre riferite al suo centro, al movimento del quale non è però possibile il tener dietro direttamente: questa riduzione si effettua prendendo la media delle osservazioni dei lembi, col che si determina contemporaneamente anche il diametro apparente del Sole. Ora risulta che il centro del Sole tramonta ogni giorno più tardi di quelle stelle fisse che nel giorno precedente passarono al meridiano contemporaneamente ad esso, e precisamente in media di 3 minuti 56,555 secondi. Di altret-

---

(*a*) [Nel compilare i cenni che precedono sui lavori dell'Istituto Geografico Militare Italiano, e sullo stato presente della Geodesia in Italia, mi sono valso largamente dei seguenti lavori:

Mori Attilio, *I lavori dell'Istituto Geografico Militare nel 1895-1896-1897*. Estratto dalla *Rivista Geografica Italiana* rispettivamente — Annata IV, fascicoli V-VI, maggio-giugno 1896. Annata IV, fascicolo VII, luglio 1897. — Annata V, fascicoli VII-VIII, 1898. — La *XII Conferenza generale della Associazione Geodetica Internazionale* (Stoccarda, ottobre 1898). Ibidem, anno V, fascicolo X, 1898.

Schiaparelli G. V., *Sulle anomalie della gravità*. Ibidem, anno III, fascicoli V, VI, VII, 1896.

Baglione P., *Sulle determinazioni relative di gravità terrestre eseguite in Italia*; Atti del III Congresso Geografico Italiano. Firenze, 12-17, IV, 1898.

Vitale L., *Sulla triangolazione principale d'Italia*; ibidem.

Zanotti Bianco Ottavio, *Le livellazioni di precisione ed il livello del mare*. Torino 1892. *La forma e la grandezza della Terra nello stato presente delle conoscenze umane*. Torino 1896].

tanto aumenta quindi giornalmente in media l'ascensione retta del Sole. Ma il movimento del Sole in quel senso non è completamente uniforme; esso mostra delle variazioni periodiche, che si ripetono regolarmente nel corso dell'anno.

L'anno solare si definisce astronomicamente come segue. Il numero dei giorni siderali (vale a dire delle rotazioni della Terra attorno al proprio asse), che intercede fra due istanti successivi, nei quali l'ascensione retta e la declinazione del Sole sono nulle e la latitudine comincia a crescere; in altre parole esso è l'intervallo di tempo che trascorre fra due passaggi successivi del Sole all'equinozio di primavera. Questa è la definizione della lunghezza dell'anno tropico, differente da altre sulle quali ci tratterremo più tardi. Le osservazioni diedero per essa la lunghezza di 366,242201 giorni siderali. Si dice giorno solare vero l'intervallo di tempo che separa due culminazioni superiori successive del Sole al meridiano; il momento della culminazione stessa è detto mezzogiorno vero.

Poichè, come già vedemmo, il crescere dell'ascensione retta del Sole da giorno a giorno, non è per nulla regolare, così anche la lunghezza del giorno solare vero, espressa in tempo siderale, è variabile. Coll'accumularsi di tali variazioni può accadere che si verifichino delle differenze anche di 16 minuti fra l'istante del mezzogiorno vero e quello in cui un esatto misuratore del tempo, che ritardi giornalmente del movimento medio del Sole, rispetto ad un orologio a tempo siderale, segna le 12. Un tale orologio camminerebbe secondo il *tempo medio o civile* (*a*). La precisa definizione di esso è la seguente. Si immagini un sole che percorra il cielo con moto uniforme nel tempo medesimo nel quale il Sole vero compie un suo giro, e lo si chiami Sole medio, il quale però debba riguardarsi come permanentemente situato sull'equatore e debba ritornare all'equinozio di primavera contemporaneamente al Sole vero. Un giorno solare medio è quindi uguale all'intervallo di tempo che intende fra due culminazioni successive del Sole medio pensato. Da ciò segue la relazione seguente fra un giorno siderale ed un giorno solare medio. Un giorno siderale $= \frac{365.242\,201}{366,242\,201} = 33$ ore, 56 minuti, $4{,}091$ secondi di tempo medio, ed un giorno medio $= \frac{366.242\,201}{365,242\,201} = 24$ ore, 3 minuti, $56{,}555$ secondi di tempo siderale. Questa relazione fra le due quantità di tempo è semplice affatto, e sarà sempre possibile di verificare un orologio che dia il tempo medio a mezzo di determinazioni di tempo eseguite al circolo meridiano con passaggi di stelle che dànno direttamente il tempo siderale, e ciò senza dover istituire osservazioni sul Sole.

La conversione del tempo medio in tempo solare vero, si presenta alquanto più complicata; essa si effettua a mezzo di quel numero che è chiamato l'equa-

(*a*) [La denominazione di *civile* data dall'autore al *tempo medio* non è adottata e può generare confusione; ciò per il motivo seguente. In Astronomia si è stabilito che il giorno solare (vero o medio) cominci a mezzogiorno (vero o medio) e sia diviso in ventiquattro ore numerate successivamente da 0 a 24. Il tempo astronomico è quindi l'angolo orario del Sole (vero o medio) contato sull'equatore andando verso Ovest su tutta l'intera circonferenza da 0^h a 24^h.

Per tempo civile s'intende quello vero o medio, nel quale il giorno incomincia a mezzanotte, cioè quando il Sole passa alla sua culminazione inferiore. Si dicono antimeridiane (A. M.) le ore tra quella culminazione inferiore (mezzanotte) e la successiva superiore (mezzogiorno) del Sole (vero o medio), e pomeridiane (P. M.) le altre. In Italia ed in molti altri paesi oggi le ore si contano di seguito da una mezzanotte all'altra, numerandole da 0 a 24.

(O. Z. B.)].

zione del tempo, cioè la differenza fra quelle due sorta di tempo a mezzodì di un dato giorno. Diamo qui sotto una tabella dell'equazione del tempo.

Tavola dell'equazione del tempo e delle posizioni del Sole per l'anno 1897.

Mezzogiorno vero di Berlino

Giorno del mese	Equazione del tempo T.M. — T.V.	A. R. del Sole	Declinazione del Sole
1 Genn.	+ 3m 59,7s	18h 49m 26,6s	— 22° 58′ 4″
6 „	6 16,3	19 11 26,4	22 26 19
11 „	8 20,5	19 33 13,7	21 43 31
16 „	10 9,1	19 54 45,4	20 50 13
21 „	11 40,6	20 15 59,3	19 47 2
26 „	12 51,9	20 36 54,2	18 34 39
31 „	13 44,1	20 57 29,4	17 13 50
5. Febb.	14 16,0	21 17 44,1	15 45 24
10 „	14 27,3	21 37 38,2	14 10 17
15 „	14 19,0	21 57 12,7	12 29 20
20 „	13 52,5	22 16 28,9	10 43 25
25 „	13 10,1	22 35 29,1	8 53 20
2 Marzo	12 13,8	22 54 15,5	6 59 55
7 „	11 5,6	23 12 49,8	5 4 1
12 „	9 47,6	23 31 14,4	3 6 30
17 „	8 22,0	23 49 31,3	— 1 8 10
22 „	6 51,7	0 7 43,6	+ 0 50 15
27 „	5 19,7	0 25 54,1	2 48 4
1 Aprile	3 48,6	0 44 5,5	4 44 32
6 „	2 20,5	1 2 19,9	6 38 53
11 „	+ 0 57,4	1 20 39,3	8 30 21
16 „	— 0 18,8	1 39 5,7	10 18 14
21 „	1 25,7	1 57 41,4	12 1 53
26 „	2 21,2	2 16 28,6	13 40 40
1 Magg.	3 3,8	2 35 28,6	15 13 50
6 „	3 32,9	2 54 42,2	16 40 45
11 „	3 48,2	3 14 9,6	18 0 42
16 „	3 49,6	3 33 51,0	19 13 5
21 „	3 36,9	3 53 46,5	20 17 22
26 „	3 10,6	4 13 55,7	21 13 2
31 „	2 31,9	4 34 17,3	21 59 32
5 Giug.	1 42,9	4 54 49,2	22 36 30
10 „	— 0 46,4	5 15 28,7	23 3 33
15 „	+ 0 15,3	5 36 13,3	23 20 28
20 „	1 19,6	5 57 0,6	23 27 8
25 „	2 24,2	6 17 48,1	23 23 27
30 „	3 25,9	6 38 32,8	23 9 29

Mezzogiorno vero di Berlino

Giorno del mese	Equazione del tempo T.M. — T.V.	A. R. del Sole	Declinazione del Sole
5 Lugl.	+ 4m 21,6s	6h 59m 11,4s	+ 22° 45′ 23″
10 „	5 8,2	7 19 41,9	22 11 25
15 „	5 43,7	7 39 59,4	21 27 56
20 „	6 6,7	8 0 5,2	20 35 20
25 „	6 16,3	8 19 57,5	19 34 2
30 „	6 11,3	8 39 35,4	18 24 36
4 Agos.	5 51,2	8 58 58,0	17 7 38
9 „	5 15,8	9 18 5,2	15 33 46
14 „	4 25,7	9 36 57,3	14 13 37
19 „	3 22,4	9 55 37,1	12 37 48
24 „	2 7,5	10 55 4,8	10 56 56
29 „	+ 0 42,5	10 32 22,2	9 11 41
3 Sett.	— 0 51,0	10 50 31,3	7 22 47
8 „	2 31,3	11 8 33,5	5 30 57
13 „	4 15,9	11 26 31,4	3 36 49
18 „	6 2,0	11 44 27,8	+ 1 41 1
23 „	7 46,9	12 2 25,4	— 0 15 46
28 „	9 28,1	12 20 26,6	2 12 49
3 Ott.	11 3,6	12 38 33,7	4 9 20
8 „	12 31,0	12 56 48,8	6 4 35
13 „	13 47,7	13 15 14,7	7 57 49
18 „	14 50,9	13 33 54,1	9 48 20
23 „	15 38,2	13 52 49,4	11 35 18
28 „	16 7,8	14 12 2,4	13 17 54
2 Novem.	16 18,7	14 31 34,3	14 55 15
7 „	16 9,8	14 51 26,0	16 26 29
12 „	15 40,1	15 11 38,6	17 50 48
17 „	14 48,9	15 32 12,7	19 7 23
22 „	13 36,8	15 53 8,0	20 15 26
27 „	12 4,5	16 14 23,2	21 14 9
2 Dic.	10 14,9	16 35 55,8	22 2 50
7 „	8 10,6	16 57 43,2	22 40 53
12 „	5 54,5	17 19 42,6	23 7 49
17 „	3 29,8	17 41 50,4	23 23 17
22 „	— 1 0,3	18 4 3,1	23 27 1
27 „	+ 1 29,3	18 26 16,0	— 23 18 58

Tutti questi valori dell'equazione del tempo dovevano in principio essere trovati ogni volta coll'osservazione, giacchè essi non poterono subito divenire il risultato di calcoli teorici che presuppongono la conoscenza del vero percorso del Sole. Noi vediamo che l'equazione del tempo presenta un andamento assai complicato; essa è nulla quattro volte nell'anno; cioè il mezzogiorno vero coincide col mezzogiorno medio, e ciò accade il 14 aprile, il 14 giugno, il 31 agosto ed il 23 dicembre. Da questo giorno l'equazione del tempo cresce costantemente, cioè il mezzogiorno medio avviene un poco dopo quello vero; la differenza tocca il suo massimo valore di circa 14,5 minuti nel giorno 11 febbraio. Da quell'epoca il mezzogiorno medio retrocede rispetto al vero, finchè nel giorno 14 maggio avviene 4 minuti più presto di quello. Indi l'equazione del tempo dopo essere stata nulla il 14 giugno ricomincia a crescere fino al 26 luglio di 6 minuti ed $^1/_4$, e finalmente essa diminuisce di nuovo fino al 2 novembre, nel qual giorno il mezzogiorno medio avviene 16 minuti ed $^1/_4$ prima del vero (*a*).

Naturalmente gli istanti del mezzogiorno vero e di quello medio sono diversi per ogni meridiano della superficie terrestre, non diversamente da quanto avviene per il passaggio al meridiano di ciascuna stella. L'intervallo di tempo fra questi ultimi istanti fu da noi chiamato differenza di longitudine geografica: una breve riflessione fa vedere che anche l'intervallo di tempo fra l'istante del mezzogiorno medio per due luoghi è uguale a quella differenza di longitudine quando la prima differenza sia data in tempo siderale, la seconda in tempo medio. La definizione della differenza di longitudine geografica richiede quindi che sia dato l'intervallo di tempo che trascorre tra il passaggio per un meridiano fisso della sfera celeste del meridiano del primo luogo e di quello del secondo, espresso quell'intervallo, in tempo siderale, cioè in parti della durata della rotazione della Terra. Se si eseguisce la determinazione di longitudine mediante il Sole, osservando l'ora che si ha in un luogo quando è mezzodì nell'altro e viceversa, durante l'intervallo di tempo che intercede fra quei due momenti delle culminazioni nei due luoghi,

---

(*a*) [Nella tavola si vedono i segni + e −. Il segno + vuol dire che il valore dell'equazione del tempo che ne è affetto deve essere aggiunto al tempo vero per avere quello medio: il segno − vuol dire che il valore dell'equazione del tempo che ne è affetto deve essere sottratto dal tempo vero per avere il medio. Il tempo vero locale solare è dato dalle *meridiane* (orologi solari tracciati sui muri, od anche orizzontalmente su lastre di pietra): le tavole dell'equazione del tempo permettono di avere da esse meridiane il tempo medio. L'equazione del tempo per ogni giorno cambia di pochi minuti secondi da un anno all'altro, i minuti primi, sufficienti allo scopo indicato, rimangono gli stessi per molti anni. In molti annuari astronomici, l'equazione del tempo è data sotto la rubrica *tempo medio a mezzogiorno vero;* in altri *Sole prima o dopo dell'orologio.* Nel primo caso, si ha in quei numeri l'ora che deve segnare un orologio esatto che indichi il tempo medio locale quando il centro del Sole passa al meridiano: la differenza in più od in meno fra quei numeri e 12, dà in ogni giorno l'equazione del tempo. La seconda dicitura, particolare agli Inglesi, si spiega di per sè. In altri almanacchi è dato solo il titolo: *Passaggio del Sole al Meridiano,* ma allora bisogna badare a qual meridiano si riferisce il tempo usato nell'effemeride, e tener conto della differenza di longitudine tra essa ed il luogo in cui si osserva. Questa longitudine va sottratta dal numero dell'effemeride se il meridiano a cui il tempo usato in essa si riferisce è ad Est del luogo pel quale l'effemeride è computata, aggiunta se è ad Ovest. Così si ha il passaggio del Sole al meridiano in tempo medio locale, del quale spiegammo poc'anzi l'uso.

(O. Z. B.)].

il Sole è retrocesso d'alquanto, così che il passaggio per il meridiano del secondo luogo, avviene alquanto più tardi di quello che si sarebbe trovato facendo osservazioni di una stella fissa: ma stando alla relazione che abbiamo stabilito fra i due sistemi di tempo medio e siderale, questa differenza deve in ogni caso essere uguale alla differenza in tempo dei due istanti. Vale a dire la differenza di longitudine fra due luoghi è esattamente uguale all'intervallo di tempo che scorre fra le culminazioni del Sole medio nei due luoghi, espressa in tempo medio, ossia eguale alla differenza fra i mezzodì, cioè fra il tempo locale dei due luoghi quando in ciascuno di essi è, volta a volta, mezzodì. Il tempo medio di un luogo diversifica da quello di un altro dell'ammontare della differenza di longitudine, ed è detto *tempo locale* (*a*).

Le indicazioni di un orologio regolato secondo il tempo locale non concordano esattamente colla posizione del Sole rispetto all'orizzonte del luogo che in media lungo l'anno; ma coll'introduzione del tempo locale si ragginnse per ogni luogo una uniformità nei dati di tempo. Non fu quindi più necessario di correggere ogni giorno il misuratore meccanico del tempo, secondo la posizione del Sole. Le piccole deviazioni del tempo locale medio da quello naturale, che salgano fino ad un quarto d'ora, non sono avvertite dall'organismo sociale umano, giacchè ad esso è indifferente che le due parti, il mattino ed il pomeriggio, della giornata, nelle quali si esplica la nostra attività, possano divenir diverse anche di una mezz'ora rispetto ai dati del nostro orologio, giacchè vi è soltanto il mezzogiorno vero che divide per metà l'intervallo di tempo compreso fra il levare ed il tramontare del Sole. Nelle lunghe giornate della state, neppure il più attento osservatore avvertirebbe quella differenza, e solo nelle prime settimane di novembre, nelle quali l'equazione del tempo raggiunge il suo massimo, può succedere il mattino sia notevolmente più breve del pomeriggio. Il rovescio succede verso la metà di febbraio; tra novembre e febbraio, secondo il tempo medio, cresce principalmente soltanto il mattino, mentre poi l'aumento della durata del pomeriggio diviene molto notevole.

Coll'enorme sviluppo preso nel nostro secolo dalle relazioni commerciali, divenne molto incomodo il dover ad ogni cambiamento di città cambiare ora all'orologio ben regolato sul tempo del luogo di dimora; così pure tornava gravoso il dover tener conto della differenza di longitudine fra due luoghi, quando occorreva di stabilire dati di tempo relativi ad un dato istante fisico ed al verificarsi di un avvenimento. Mentre una volta nelle relazioni commerciali non si badava ad un'incertezza nei dati di tempo anche dell'ammontare di una notevole

---

(*a*) [L'autore usa la frase *tempo locale* per denotare il *tempo locale medio*, ma ciò può generare confusione perchè in Astronomia tempo locale può esserlo tanto l'astronomico quanto il civile, il siderale quanto il solare vero o medio, quindi è indispensabile aggiungervi la parola medio. Chi desideri più ampia istruzione sul tempo, sua divisione e misura, può consultare gli scritti seguenti:

Istruzioni e tavole numeriche per la compilazione del calendario con alcuni cenni intorno al Calendario in generale, di Michele Rajna. Milano 1887.

L'Ora esatta dappertutto, di Michele Rajna. Milano 1897.

L'Ora dell'Europa Centrale in Italia, nel libro: *In Cielo*, di Ottavio Zanotti Bianco. Torino 1897.

(O. Z. B.)].

frazione di ora; e d'altra parte soltanto con viaggi della durata di parecchi giorni si poteva percorrere una differenza di longitudine di un'ora: oggi colle ferrovie e coi telegrafi si tien conto dei minuti e delle loro frazioni, dovendosi spesso in precedenza stabilire con una simile precisione il prodursi di un avvenimento. Nelle ferrovie, ad esempio, un equivoco od un'applicazione falsa, della differenza fra i tempi locali, può avere le più disastrose conseguenze. Quindi per lo scopo del commercio si pensò ad introdurre, almeno nei servizi interni di ciascun Stato, il *tempo nazionale*, ossia il tempo locale della città capitale di ciascun Stato. Così almeno non occorreva di cambiare ora all'orologio se non attraversando il confine del paese. Ma gli interessi comuni dell'umanità si estendono oltre i confini di tutti i paesi: e ad unificare su tutta la Terra i dati del tempo, si propose un tempo universale.

La questione del tempo universale fu discussa, per la prima volta, alla conferenza geodetica in Roma nell'anno 1883. Sebbene allora l'accordo non abbia potuto essere completo, tuttavia incontrò favore l'introduzione di un tempo unico. Questa questione era divenuta importantissima sopratutto per gli Stati Uniti dell'America del Nord che in mutuo vivacissimo scambio di relazioni, estendono le loro regioni orientali ed occidentali sopra ben cinque ore di spazio in longitudine. Allo scopo di risolverla il Governo degli Stati Uniti convocò, in Washington nell'autunno del 1884, una conferenza diplomatica che decidesse della scelta di un meridiano d'origine, o primo meridiano, per il computo del tempo. A tutta prima apparve indifferente la scelta di un meridiano piuttosto di un altro. Ma tuttavia poichè i quattro più importanti annuari astronomici sono da molti anni pubblicati per i meridiani di Greenwich, Parigi, Berlino e Washington, così soltanto questi quattro meridiani potevano essere presi seriamente in considerazione; fra essi poi il meridiano di Greenwich aveva il grandissimo vantaggio che tutti i navigli del mondo, ad eccezione dei Francesi, si regolavano su di esso: cioè avevano i loro cronometri nautici camminanti secondo il tempo locale di Greenwich, e che tutte le carte nautiche avevano per meridiano d'origine quello di Greenwich (Vedi Fig. 229).

Ma sfortunatamente a Washington non si giunse ad alcun accordo; giacchè si facevano sentire troppo le vanità nazionali, in particolare i Francesi non vollero abbandonare il loro meridiano di Parigi. A quanto pare poi la questione fu, senza necessità, complicata con altre trattazioni, giacchè si discusse anche se non si dovesse senz'altro introdurre l'uso astronomico di contare le ore da 0 a 24, partendo da mezzogiorno anzichè da mezzanotte. Il risultato della discussione fu che le Nazioni, l'una dopo l'altra, introdussero il *tempo dei fusi orari*. Questo può essere considerato come uno stadio intermedio per il passaggio dal tempo locale al tempo universale, giacchè invece delle infinite noverazioni del tempo, prima esistenti, ne furono conservate soltanto 24 diverse che si estendono sopra regioni eguali attorno alla Terra; ciascuno di quei fusi ha il tempo che diversifica da quello degli altri di un numero intero di ore; i minuti ed i secondi coincidono esattamente per tutti i fusi, essendo stabiliti dal meridiano di Greenwich. Questi fusi sono così distribuiti che le ore esatte diversifichino per le Nazioni che vi sono comprese, quanto meno è possibile dai diversi tempi locali. In Germania questo tempo dei fusi orari è distinto col nome di *tempo medio dell'Europa*

centrale (M. E. Z., iniziali delle parole tedesche *Mitteleuropäische Zeit*); esso per deliberazione del Parlamento Germanico del 22 febbraio 1893 fu introdotto generalmente nella vita civile a partire dal 1° aprile dell'anno medesimo. Questo tempo medesimo fu adottato in Italia (*a*), Svezia e Norvegia, Austria-Ungheria, Svizzera. Tutte le Nazioni civili hanno oramai adottato questo tempo dei *fusi orari*, detto

Fig. 229. — Osservatorio di Greenwich. Da una fotografia.

anche meno propriamente delle *zone orarie*. Coll'introduzione dei fusi orari si è già ovviato molto alla necessità incalzante dell'unificazione del tempo, giacchè in esso i minuti ed i secondi di tutti gli orologi del mondo dovrebbero coincidere, così il tempo del grande concerto dell'istoria del mondo è regolato dalla misura data dai battiti del pendolo dell'orologio normale dell'Osservatorio di Greenwich. Per lo scopo cui si mira, non sono che di poca importanza i diversi nomi numerici che in quel sistema vengono dati alle ore nei differenti paesi, ed

(*a*) [Il sistema dei fusi orari fu introdotto in Italia a partire dal 1° novembre 1893. Il meridiano che dà il tempo al fuso nel quale sta l'Italia, e che è il secondo, passa per la città di Stargard in Germania, presso Termoli, e per l'Etna in Italia. Esso differisce di un'ora in longitudine dal meridiano di Greenwich, e di 10^m $4^s{,}45$ dal meridiano del Collegio Romano in Roma. In Italia le ore si contano da 0 a 24 di seguito da una mezzanotte all'altra.

(O. Z. B.)].

un equivoco di ore intiere, che è pur sempre possibile nel sistema dei fusi orarî, non può nei servizi internazionali produrre che imbrogli di molto minor conseguenza che un equivoco nei minuti, giacchè gli errori grossolani si rivelano, per così dire, da se stessi.

Il meridiano, che sta ad un'ora ad Est di Greenwich, passa nel mezzo della Germania, quasi esattamente per Stargard, così che il 1° aprile 1893, quella città non dovette cambiare il suo tempo. In Berlino per contro tutti gli orologi dovettero venire messi avanti di 6 minuti e 25 secondi (*a*) a fine di indicare il tempo medio dell'Europa centrale. In Aachen, al lembo occidentale della Germania, si dovette far avanzare la sfera maggiore degli orologi di 32 minuti e 56 secondi, ed in Königsberg mandarla indietro di 21 minuti e 59 secondi. A cagione di questo nuovo spostamento dei dati del tempo civile rispetto a quelli del tempo vero, la disuguaglianza fra il mattino ed il pomeriggio si è ancora accresciuta: così ad es., l'11 febbraio, quando l'equazione del tempo raggiunge il suo massimo valore positivo, il Sole tocca in Aachen il suo punto più elevato quando gli orologi segnano 12 ore e 48 minuti; il mattino viene quindi ad essere di 48 minuti più breve di quello che dovrebbe essere naturalmente; il pomerigio più lungo, per contro, d'altrettanto. Il rovescio avviene a Königsberg in novembre: a mezzodì vero gli orologi segnano 11 ore e 22 minuti. Tra il levare del Sole ed il mezzogiorno dell'Europa Centrale trascorrono circa 5 ore e mezzo, mentre ne passano soltanto 4 e $^1/_4$ fra quel mezzodì ed il tramonto del Sole (*b*).

Con tutto questo noi ci siamo allontanati ancora d'alquanto dalla divisione naturale del tempo data direttamente dai movimenti del Sole, la quale in principio cominciò a farsi col dividere il giorno, fra il levare ed il tramontare del Sole, in dodici ore, così che la sesta ora corrispondeva sempre al mezzogiorno. Manifestamente allora non si pose affatto mente alla diversità della lunghezza dei giorni nelle stagioni, il che fu possibile nelle zone terrestri, nelle quali vivevano i primi popoli civili, poichè colà la differenza non è così ragguardevole come nelle nostre alte latitudini. In Alessandria, ad esempio, il giorno più corto è lungo 10 ore, quello più lungo 14. Nel primo caso pertanto l'ora antica abbracciava 50 dei nostri minuti, nel secondo 70. Se poi anche coll'andare del tempo si scoprirono quelle ineguaglianze, delle quali si dovette pure aver contezza a mezzo degli orologi solari, in cui l'indice, che era l'ombra dello stilo, percorreva nelle varie stagioni tratti disugualmente lunghi, da esse tuttavia non provenivano al vivere civile inconvenienti di sorta, giacchè negli affari comuni si introdussero segnali col suono di campane, tamburi, trombe. Pel servizio religioso e militare quell'uso vige oggi ancora. I dati degli orologi solari continuarono ancora a servire di norma, quando in alcuni paesi

---

(*a*) [Prima dell'introduzione dei fusi orarî in Italia gli orologi erano regolati sul tempo medio di Roma, quindi, tenendo conto della longitudine di $10^m\ 5^s$ circa che separa il meridiano del Collegio Romano, che dava il tempo in Italia, e quello dell'Europa Centrale, il 1° novembre 1893, gli orologi italiani dovettero venir fatti avanzare di $10^m\ 5^s$ per portarli a segnare il tempo medio dell'Europa Centrale. (O. Z. B.)].

(*b*) [Un'osservazione analoga può farsi pure per l'Italia che si estende abbastanza in longitudine: ma l'applicazione che da sei anni si fa del tempo dell'Europa Centrale ha dimostrato che nessun inconveniente è derivato dal divario fra il tempo vero ed il civile. (O. Z. B.)].

s'incominciò a dividere l'intervallo di tempo, trascorrente tra un mezzodì ed il successivo, in due volte dodici ore, e quindi non si principiava più il giorno dal levar del Sole. A questo modo la disuguaglianza delle ore che passava affatto inavvertita nella vita civile dipendeva soltanto più dall'equazione del tempo. Ma ben presto si fece un altro passo avanti, si adoperarono le campane delle chiese per annunziare il principio di ogni ora, non troppo diversamente dall'uso vigente oggi ancora in Oriente di gridare le ore dall'alto delle torri. In principio era il sacristano che aveva l'incarico di guardare la meridiana per poi in base a tale osservazione annunziare alla città il principio della nuova ora, col tirare le corde delle campane; poi, al cominciare del secolo dodicesimo, vennero costrutti i primi orologi a suoneria, che in principio dovettero avere soltanto per scopo di facilitare al sacristano il suo còmpito; ad ogni modo erano certo ben lungi dal poter servire quali misuratori del tempo anche dell'indole più grossolana. Essi dovevano, tanto spesso quanto occorreva, essere messi a posto secondo le indicazioni dell'orologio solare.

Solo quando s'incominciò a costrurre di tali orologi sempre più perfetti, e segnatamente dei piccoli orologi per gli usi della navigazione, e finalmente orologi da tasca, principiarono a farsi sentire incomode le disuguaglianze del tempo solare vero, che fino a quell'epoca aveva regolato la vita pubblica. Gli orologi camminavano notoriamente più regolarmente del Sole, e vi furono quindi gli orologiai, che a tutela della buona rinomanza dei prodotti della loro arte, reclamarono per i primi energicamente l'introduzione di una divisione del tempo, che procedesse più regolarmente. La città di Ginevra, già allora famosa per la fabbricazione di buoni orologi, fu la prima ad adottare il tempo medio, e precisamente nell'anno 1798. In Parigi fu usato a partire dal 1816.

Frattanto tutto che riguardava il tempo veniva sempre più migliorando per soddisfare alle crescenti esigenze del generale lavorìo d'incivilimento dell'umanità, che andava facendosi più vivo e penetrante. Si accrebbe il numero degli orologi pubblici, il cui andamento venne sottoposto alla sorveglianza degli osservatori; gli orologi solari disegnati sopra ogni chiesa, dalla dignità di sovrani regolatori della vita umana, discesero all'umile posizione di reliquie del buon tempo antico. A cagione dell'agitarsi ognor più vivace dell'umanità, i minuti acquistarono quel valore che altra volta possedevano le ore, e coll'invenzione delle ferrovie giunse a proposito quella del telegrafo, col quale fu possibile di mantenere uguali le indicazioni di molti orologi. Vennero inventati dei quadranti elettrici, a mezzo dei quali si potevano comunicare ad una intiera città, da una stazione centrale, i dati dei migliori orologi astronomici, esatti fino alle frazioni di secondo. Ginevra ancora, prima fra tutte le altre città possiede un tale squisitissimo sistema di trasmissione del tempo, e ad essa è da attribuirsi, certo in buona parte, la perfezione degli orologi che si fabbricano colà.

Per il commercio delle grandi città del mondo una precisione così grande non è nè necessaria nè consigliabile, in causa della grandissima delicatezza dei congegni occorrenti: in esse si sta quindi contenti quando si raggiunge un'incertezza di un mezzo minuto soltanto. A Parigi, per regolare tutti assieme gli orologi pubblici, si è adottato un principio pneumatico; in questo, mediante la rarefazione dell'aria in una rete di tubi, si libera un contatto, che rettifica gli orologi

a determinati intervalli di tempo. A Berlino funziona egregiamente il sistema delle colonne orologi. Urania, nel quale in modo ingegnosissimo sono applicate tanto l'elettricità quanto l'azione della presssione dell'aria.

Colla precisione oggi raggiunta dagli orologi, noi ci siamo più che mai accostati da vicino ai valori medi dei movimenti del Sole. Nel tempo medesimo ci siamo intieramente emancipati dai loro dati immediati variabili per ogni anno, per ogni giorno e per ogni luogo della Terra, i quali per di più non si possono per le vicende atmosferiche delle nostre zone ottenere che ad intervalli di tempo affatto irregolari. L'avviamento del progresso in tutto ciò che concerne la divisione ed il computo del tempo non permette di conservare dubbio alcuno, che fra non molto le ore dei ventiquattro fusi, che presero il posto degli innumerevoli tempi locali, dovranno a loro volta ritirarsi innanzi all'ora universale.

Il Sole, oltre al suo movimento in ascensione retta, che sta a base dei vari sistemi per il computo del tempo, ne possiede anche un altro in declinazione, dal quale provengono le stagioni e la ripartizione della Terra in zone. Soltanto due volte nell'anno, agli equinozi di primavera e d'autunno, il Sole si trova esattamente sull'equatore. Ora, poichè questo è diviso in due parti eguali dall'orizzonte di ogni luogo terrestre, colla sola eccezione dei due poli, così anche il Sole, quando si trova sull'equatore, deve rimanere per tempi eguali sopra e sotto l'orizzonte, a quell'epoca il giorno come la notte abbracciano 12 ore, e su tutta la Terra il giorno è uguale alla notte. Dopo che il Sole è passato per il punto dell'equinozio di primavera, esso va elevandosi ognor più sull'equatore; la sua declinazione cresce dapprima rapidamente, poi sempre più adagio, finchè dopo un trimestre la sua distanza angolare dall'equatore ha raggiunto il valore di 23 gradi e mezzo. All'epoca di questa massima altezza, alla quale noi fissiamo il principio della nostra estate nel calendario, all'osservazione superficiale sembra che il Sole si fermi per qualche tempo, si dice perciò che è avvenuto il *solstizio d'estate*. Da quel momento la declinazione del Sole diminuisce nella misura istessa colla quale era cresciuta, l'astro del giorno attraversa l'*equinozio d'autunno*, passa sull'emisfero meridionale del Cielo per trovarsi al principio dell'inverno al *solstizio d'inverno;* questo succede quando la declinazione del Sole ha un valore quasi esattamente eguale a quello che aveva a Nord al principio dell'estate. Se sopra un globo celeste si disegna il vero cammino del Sole durante un anno, si vede che esso descrive esattamente un circolo massimo, il cui centro coincide col centro del globo, e che questo cerchio denominato eclittica è inclinato sull'equatore celeste di circa 23 gradi e mezzo. Questo movimento del Sole si ripete ogni anno nel modo medesimo, ed è osservato concordemente in tal guisa da tutti i luoghi della Terra.

Però questo movimento del Sole in declinazione produce nei diversi luoghi della superficie terrestre delle apparenze differenti, colle quali noi dobbiamo famigliarizzarci un poco intimamente. Consideriamo prima un luogo dell'equatore. Noi sappiamo già che ivi tutte le stelle a cagione del loro movimento diurno descrivono archi diurni e notturni eguali. Quindi anche l'arco diurno e notturno del Sole devono essere uguali sempre, qualunque sia la posizione che il Sole prenda nel suo cammino annuo attorno al Cielo fra l'equatore celeste ed il polo; vale a dire in qualunque luogo dell'equatore, il Sole si leva alle 6 antimeridiane di tempo medio locale e tramonta alle 6 pomeridiane. Le variazioni della sua decli-

nazione non hanno alcuna influenza sulla lunghezza del giorno che all'equatore si mantiene sempre costante (Vedi Fig. 211). L'irradiazione del Sole sulle regioni equatoriali non cambia quindi colle stagioni, che noi così bene distinguiamo nelle nostre latitudini, od in altre parole, sotto l'equatore non vi sono stagioni. Il lavoro che la luce solare comunica al regno della vita organica, segnatamente lo sviluppo parsi di quel misterioso processo chimico, in virtù del quale solo colla luce può generarsi il verde delle piante, può esplicarsi all'equatore in modo uguale ad ogni epoca, quindi le regioni tropicali sono favorite da boschi sempre verdi, lussureggianti e di continuo rinnovantisi, ove però non manchi l'acqua a ciò necessaria. Ma anche i procedimenti meteorologici che sono regolati dalla posizione variabile del Sole, si svolgono all'equatore molto regolarmente, e se anche colà si avverte un'ultima traccia dell'avvicendarsi delle stagioni col presentarsi dell'epoca delle pioggie, ciò ha essenzialmente la sua causa nell'incontro di correnti atmosferiche provenienti dai due fianchi dell'equatore che cagionano sull'equatore stesso il ragguaglio delle alternative prodotte dall'irradiazione solare sui due emisferi terrestri. D'altronde neppure all'equatore l'irradiazione solare si mantiene affatto regolare; soltanto quando il Sole stesso sta sull'equatore celeste, passa per lo zenit di un luogo situato sull'equatore celeste, vale a dire alle epoche dell'equinozio di primavera e di autunno a mezzogiorno colà tutti gli oggetti sono senza ombra. In quelle epoche, all'equatore si verifica anche la più forte irradiazione solare, la quale è mitigata poi dallo spostarsi del Sole a Nord e a Sud dell'equatore, e dalla inclinazione ognor maggiore sotto la quale cadono i suoi raggi. Alle epoche dei solstizi, all'equatore, l'irradiazione è minima. Si potrebbe quasi dire che gli abitatori delle zone equatoriali hanno, nel corso dell'anno, due stagioni estive che coincidono coi nostri autunno ed estate, e due simili stagioni primaverili, mentre da noi è corrispondentemente estate ed inverno. Ma le differenze d'irradiazione, causate dai cambiamenti di posizione del Sole, sono molto tenui. Esse stanno fra loro, a termini di ben note leggi fisiche, come il coseno degli angoli d'incidenza dei raggi; nel caso dato cioè fra equinozio e solstizio come 1 : 0,917.

Mettiamo per un momento da banda gli effetti della rifrazione atmosferica, che innalza già notevolmente il Sole al di sopra dell'orizzonte, quando esso ne è ancora veramente al di sotto (col che anche all'equatore la lunghezza del giorno diventa maggiore di quella della notte), ed il numero delle ore nelle quali si vede splendere il Sole, è sempre uguale a quello delle ore nelle quali esso non si vede. Ma per la vita civile noi dobbiamo ancora considerare il crepuscolo che produce un trapasso dal giorno alla notte a favore del primo. Anche il crepuscolo è una conseguenza della rifrazione nella nostra atmosfera. Si è praticamente trovato che il Sole può ancora illuminare diffusamente le particelle d'aria sovrastanti ad un determinato luogo d'osservazione, quando esso si trova sotto l'orizzonte di un angolo inferiore a 18 gradi. All'equatore, quella regione sottostante all'orizzonte e compresa fra esso e 18 gradi di depressione è percorsa dal Sole più rapidamente che ovunque altrove, poichè ivi in ogni sua posizione il suo cerchio diurno rimane sempre perpendicolare all'orizzonte. L'anno conta $365 \times 24 = 8760$ ore: di esse una metà 4380, sono di giorno illuminato dal Sole, altre 852 spettano al crepuscolo, soltanto le rimanenti 3528 sono di vera notte. In questo calcolo

sull'allungamento del giorno, non si è tenuto alcun calcolo della rifrazione; se invece se ne tien conto, si ha per le varie latitudini la tabella seguente:

	Luce solare durante 1 anno	Luce rifratta soltanto	Crepuscolo astronomico	Notte piena
Al Polo Nord	186^d 11^h	2^d 22^h	94^d 16^h	84^d 3^h
A 40° di latitudine .	183 8	1 14	49 2	132 20
All'equatore	182 15	1 5	36 1	146 14

Se partendo dall'equatore camminiamo verso Nord o verso Sud, i rapporti descritti cambiano da prima di poco; i circoli, che il Sole e le altre stelle descrivono a cagione del moto rotatorio della Terra, s'inclinano sempre più rispetto all'orizzonte, ma malgrado ciò, in tutte le regioni terrestri che si stendono dalle due parti dell'equatore fino a 23 gradi e mezzo di latitudine, il Sole passerà due volte nell'anno, allo zenit del luogo d'osservazione (*a*). Sui globi terrestri si sogliono designare coi nomi di *Tropico del Cancro* e *Tropico del Capricorno* i cerchi paralleli che limitano quelle regioni rispettivamente nell'emisfero Sud e nell'emisfero Nord della Terra. Quelle denominazioni provengono dai segni dello zodiaco nei quali il Sole si trova nelle epoche, nelle quali esso passa per i punti più distanti angolarmente dall'equatore, delle regioni celesti nelle quali si compie il suo cammino. Ma a cagione della posizione degli archi diurni che si fa sempre più inclinata, colla situazione del Sole cambiano anche le durate del giorno. Se noi ci troviamo al limite della zona torrida settentrionale sotto il tropico del Cancro, noi avremo, come ovunque sulla Terra, il giorno di durata massima, all'epoca della state in cui a mezzodì il Sole è più alto, in questo caso quindi all'epoca del solstizio d'estate; quando il Sole dista angolarmente dall'equatore celeste a Nord tanto quanto il luogo d'osservazione dista angolarmente dall'equatore terrestre, e quindi passa per il punto culminante. In causa di questa posizione dell'arco diurno inclinato all'orizzonte, l'arco stesso si spinge verso Nord oltre i punti Est ed Ovest. La lunghezza del giorno supera 12 ore e sotto il tropico del Cancro è precisamente di 13 ore, 27 minuti. Ma non appena poi il Sole, dal punto più settentrionale del suo cammino annuo riprende a dirigersi verso l'equatore, le lunghezze degli archi diurni vanno costantemente diminuendo, e dopo che questi ha attraversato l'equatore stesso all'equinozio d'autunno, raggiungono il loro minimo quando il Sole nell'emisfero Sud passa per il solstizio d'inverno. In quell'epoca, a mezzodì, il Sole dista dallo zenit di un luogo situato sotto il tropico del Cancro di un angolo eguale a $2 \times 23°,5 = 47°$. L'altezza di culminazione del Sole minima allora è di $90° - 47° = 43°$, e la durata del giorno è allora di 10 ore 33 minuti.

D'altronde tutte queste condizioni del movimento diurno si possono riassumere in una formola trigonometrica molto semplice:

$$\cos t = - \operatorname{tang} \varphi \operatorname{tang} \delta,$$

nella quale t è il semi arco diurno, φ la latitudine geografica del luogo d'osser-

(*a*) [Vedasi lo scritto di Ottavio Zanotti Bianco intitolato: *Il passaggio del Sole allo zenit nelle regioni tropicali*; " Rivista Geografica Italiana ", anno II, 1895. (O. Z. B.)].

vazione, e δ la declinazione dell'astro, qui del Sole. Applichiamo questa formola all'equatore ove $\varphi = 0$, e vedremo che l'arco diurno diviene affatto indipendente dalla declinazione del Sole, giacchè $\cos t$ è sempre uguale a 0, cioè $t = 90^{o}$, ossia 6 ore. Per contro se $\delta = 0$ il Sole si trova sull'equatore celeste, allora è di nuovo, e per ogni latitudine ossia per tutta la Terra $\cos t = 0$, la notte è uguale al giorno. Per la latitudine di $23^{o}\,1/2$ ed una eguale declinazione, noi otteniamo un semi arco diurno di 100,9 gradi, ossia 6 ore 43,6 minuti, per una declinazione australe di $23^{o}\,1/2$, per contro un semi arco diurno di $79^{o},1$ ossia 5 ore 16,4 minuti. Per cui sotto il tropico del Cancro, al principio dell'estate, il Sole leva a $5^{h}\,16^{m},4$ del mattino di tempo solare vero e tramonta a $6^{h}\,43^{m},6$ di sera; al principio dell'inverno per contro si leva a $6^{h}\,43^{m},6$ del mattino e tramonta a $5^{h}\,16^{m},4$ della sera, sempre ben inteso di tempo solare vero. (Sempre senza tener conto della rifrazione, perchè a noi qui c'interessa soltanto il concetto geometrico). Noi vediamo che al tropico del Cancro le differenze tra l'estate e l'inverno non sono grandi più di quello che sia nelle nostre latitudini il divario fra il levare e tramontare del Sole alla fine di febbraio e alla metà di aprile. Se ci supponiamo situati al limite della zona torrida meridionale sul tropico del Capricorno, vi troveremo le condizioni del tutto rovesciate; la posizione più elevata del Sole ha luogo all'epoca della sua massima declinazione australe, cioè all'epoca del solstizio d'inverno dell'emisfero settentrionale, che con ciò diviene per l'emisfero meridionale il solstizio d'estate.

A partire dai tropici ed andando verso i poli, le durate dei giorni divengono nelle stagioni sempre più differenti. In queste calotte terrestri il Sole non può più passare allo zenit di alcun luogo d'osservazione, per contro, per un dato parallelo di esse, può all'epoca della sua massima distanza angolare dall'equatore celeste avere un'altezza meridiana di 0 gradi soltanto, cioè non elevarsi sopra l'orizzonte nel giorno corrispondente. È facile trovare sotto qual latitudine ciò debba avvenire una volta nell'anno. Se a mezzodì il Sole è all'orizzonte, mentre la sua declinazione è contemporaneamente un massimo, il Sole sta sull'emisfero celeste di nome opposto a quello dell'emisfero terrestre sul quale è situato il luogo che si considera, il punto d'intersezione dell'equatore celeste col meridiano del luogo d'osservazione è elevato sull'orizzonte di $23^{o},5$, ed il polo dalla parte opposta dello zenit sarà elevato sull'orizzonte di $90^{o} - 23^{o},5 = 66^{o},5$. Quindi alla latitudine geografica di $66^{o},5$ all'epoca del solstizio corrispondente, il Sole non si eleva più sopra l'orizzonte; sull'emisfero settentrionale, ciò avviene all'epoca del solstizio invernale di esso, nell'emisfero australe un semestre più tardi.

Questi paralleli limiti furono chiamati circoli polari. La regione che in ogni emisfero è compresa fra il tropico ed il circolo polare, dicesi zona temperata. Dentro di esse il giorno e la notte variano ancora regolarmente fra gli estremi limiti di un giorno di 24 ore ed una notte di altrettante, una volta nell'anno. Per queste zone, nel nostro emisfero, il Sole culmina sempre a Sud, nell'australe sempre a Nord. A cagione della più forte inclinazione degli archi diurni all'orizzonte si allungano anche sempre le manifestazioni crepuscolari. A partire dalla latitudine data da $66^{o},5 - 18^{o} = 48^{o},5$, il crepuscolo può durare per tutta la notte, giacchè ivi all'epoca del solstizio d'estate a mezzanotte il Sole si trova meno di 18° sotto l'orizzonte. Il numero di queste notti estive chiare cresce colla latitudine

geografica. In Berlino esse durano dal 17 maggio al 25 luglio. In Pietroburgo per contro, le notti chiare permangono per una gran parte della state dal 21 aprile fino al 21 agosto, ed allora è possibile leggere i caratteri usuali di stampa all'aperto, senza luce artificiale. La disuguaglianza della durata dei giorni che ognor crescendo dai circoli dei tropici a quelli polari, rende più spiccati i contrasti delle stagioni. La piccola tabella che segue mostra, per alcune latitudini, per le quattro stagioni dell'anno quante ore il Sole rimanga sopra l'orizzonte quando si trascuri l'effetto della rifrazione.

L'irradiazione solare secondo le stagioni.

Data	22 dic.-20 marzo	21 marzo-21 giugno	22 giugno-23 sett.	24 sett.-21 dic.
Numero dei giorni	89	93	94	89
$\varphi = 0,00$	1068 ore	1116 ore	1128 ore	1068 ore
$\varphi = 23,45$	989 „	1186 „	1211 „	988 „
$\varphi = 66,55$	559 „	1663 „	1667 „	551 „
$\varphi = 90,00$	0 „	2232 „	2256 „	0 „

Mentre sotto i tropici il numero delle ore nelle quali il Sole invia alle regioni terrestri sottostanti luce e calore, nel corso dell'anno non oscilla ancora tanto da produrre una notevole influenza sulla vita organica, verso i poli le differenze diventano presto così grandi che una gran parte dei vegetali non ricevono neppure durante la stagione più calda dell'anno dal Sole un contributo di energia sufficiente a poter maturare. Per le piante a fronda, cessa la possibilità di mantenere sempre verdi le loro foglie; la vicenda delle stagioni si manifesta sempre più distintamente nella scena del paesaggio, e finalmente giungiamo in regioni nelle quali, durante la stagione invernale, la quantità di calore diventando sempre più debole, non basta più a conservare la vita vegetale. La temperatura scende sotto lo zero; le precipitazioni si congelano, e gli strati di ghiaccio che si distendono sulla superficie terrestre nelle notti e nei giorni senza Sole, non possono più venir fusi nelle poche ore d'irradiazione solare che durante l'inverno cadono tanto obliquamente. Soltanto quando nell'estate il Sole s'innalza ognora più sopra l'equatore, esso può, specialmente nelle latitudini più elevate, a cagione della lunghezza dei giorni ognor crescenti, e malgrado la grande obliquità dell'incidenza dei suoi raggi, apportare alla superficie della Terra e durante un giorno una quantità di calore e di luce maggiore che sotto l'equatore. Così che il calore dei giorni estivi nelle regioni circostanti ai circoli polari, non è in circostanze favorevoli inferiore a quello delle regioni equatoriali. Però quanto più ci accostiamo ai poli, tanto meno durano questi bei giorni.

Se dai circoli polari noi continuiamo il nostro cammino verso i poli, avvertiamo che all'epoca del solstizio d'estate, per giorni prima, per settimane poi e finalmente durante mesi, il Sole non tramonta mai, mentre all'epoca del solstizio d'inverno dominano notti lunghe d'altrettanto. Ai due poli della Terra non vi è più differenza fra giorno ed anno. La metà del giorno che è illuminata colà lunga 6 mesi; e lunga del pari è la notte, però ridotta da un crepuscolo di lunghissima durata, che colà è più lungo della notte propriamente detta e abbraccia da 94 a 95 giorni di 24 ore. Quanto precede esibisce immediatamente

la spiegazione geometrica di questa unica vicenda del giorno che si verifica ai poli. Noi sappiamo che per essi l'equatore celeste coincide coll'orizzonte, e che le stelle fisse non si levano nè tramontano. Ivi pertanto il moto diurno della Terra è senza influenza sull'avvicendarsi del giorno e della notte, che vi può essere prodotto soltanto dal movimento apparente annuo del Sole. Finchè questo si trova nell'emisfero celeste opposto a quello nel quale sta il polo terrestre che si considera, fra la sua estrema declinazione di 23°,5 e quella di 18 gradi, nessun bagliore di sua luce può giungere fino al polo, neppure a mezzo della dispersione della luce nell'atmosfera. Per l'emisfero settentrionale il Sole ha declinazioni comprese fra quei valori dal 10 novembre alla fine di gennaio, e quindi durante un lasso di tempo di 84 giorni solari medi domina colà notte assolutamente oscura. Allora principia il crepuscolo che dura fino al 21 marzo, epoca dell'equinozio di primavera. In essa il Sole col suo giungere all'equatore, si mostra di nuovo, dopo sei mesi d'assenza, sull'orizzonte del polo e girando attorno al polo celeste con un andamento a spirale che va lentamente procedendo prima elevandolo (fino al solstizio d'estate) e poi abbassandolo, vi permane costantemente fino all'equinozio d'autunno. Solo mediante la sua continua irradiazione che opera non interrotta da alcuna notte, il Sole può compensare le devastazioni che il freddo, penetrante senza ostacoli, dello spazio cosmico ha cagionato durante la lunga notte polare; e tutti gli uomini ardimentosi che penetrarono in quelle regioni inospitali dell'alto Nord, descrivono con parole esaltate la vivacità e larghezza colla quale si sviluppa il mondo vegetale, e la seducente bellezza della flora alpina, che, sciolto il solido involucro del ghiaccio, fa crescere colà con incredibile rapidità la costante azione dei vivificanti raggi solari del lungo giorno estivo. I semi delicati e le fioriture che si schiudono vivacemente, debbono ben presto inaridire di nuovo sotto l'esuberanza dell'irradiazione ininterrotta, dopo esistenza brevissima; giacchè colà sui declivi rocciosi l'acqua di fusione che pur vi abbonda è subito esaurita. Per fermo le poche settimane di quel clima felice non possono far germogliare che piante culmifere od erbacee; la regione degli alberi non oltrepassa di molto il circolo polare Nord. Solo di rado s'incontrano ancora macchie di salici e di betulle nane.

I poli geografici non furono ancora toccati dall'uomo; e di poco più oltre il circolo polare australe ci si è accostati al polo Sud; intorno ad esso si stende un impenetrabile campo di ghiaccio, molto più largo di quello che circonda il polo Nord, al quale nell'anno 1895 il norvegese Nansen si è accostato così da raggiungere la latitudine di 86° 14′. Nei precedenti viaggi d'esplorazione, non si era andati molto più in su degli 83 gradi. Per farci un'idea delle condizioni del percorso del Sole che prevalgono in quelle regioni, fermiamoci alquanto a considerare l'inospitale Franz-Josephs Land (Terra di Francesco Giuseppe). Poichè ivi l'equatore non è più inclinato all'orizzonte che di sette gradi, così dopo la lunga notte invernale, il Sole si presenta per la prima volta sull'orizzonte a mezzodì, non appena esso ha toccato una declinazione australe di 7 gradi. Ciò avviene il 2 marzo. All'equinozio di primavera, colà, come ovunque sulla Terra, il giorno illuminato dura già 12 ore. Quindi dal 2 al 21 marzo, cioè in 19 giorni, la permanenza del Sole sull'orizzonte cresce da 0 a 12 ore; e già al 7 aprile, quando il Sole ha raggiunto la declinazione settentrionale di 7 gradi, giunge il momento a partire dal quale il Sole non si abbassa più, giacchè alla latitudine di 83 gradi il punto Nord dell'orizzonte

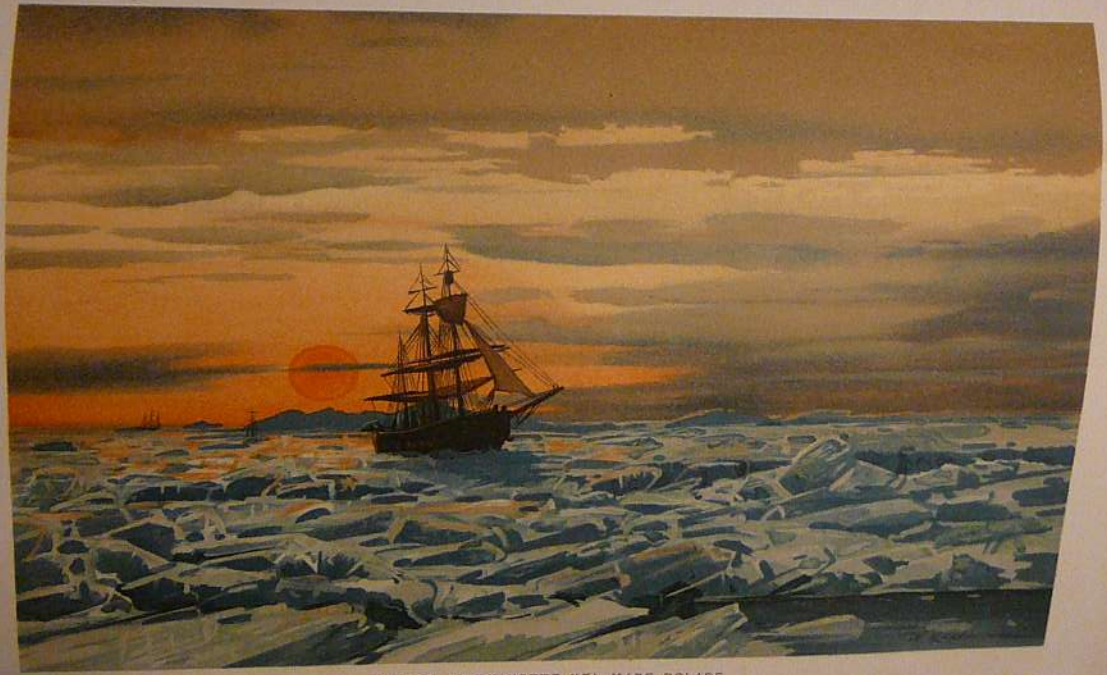
deve avere una declinazione di $90° - 83° = 7°$. L'astro del giorno a quell'epoca rasenta a mezzanotte l'orizzonte settentrionale, e si gode del curioso spettacolo del Sole di mezzanotte (Vedi qui unita tavola), del quale però a stagione più avanzata si può gioire dalle regioni della Scandinavia poste a settentrione del circolo polare artico. Lo spiegamento meraviglioso di colori che il Sole suscita rasentando lentamente l'orizzonte lungo l'immenso mare su quei campi di ghiaccio, è stato molte volte descritto entusiasticamente. Sotto la latitudine di 83 gradi, il giorno dura senza interruzione dal 7 aprile fino al 4 settembre; allora solamente, a mezzanotte, esso scompare per breve tempo sotto l'orizzonte. All'equinozio di autunno, al 23 settembre, ovunque si ha 12 ore di giorno; ma già all'11 ottobre i viaggiatori polari che sono penetrati fino a quella latitudine veggono il Sole per l'ultima volta a mezzogiorno, durante alcuni minuti. Da quel momento comincia un periodo crepuscolare, senza interruzione, che si estende anche oltre la mezzanotte, finchè al 21 ottobre il Sole abbia raggiunto una declinazione australe di 11 gradi, e quindi stia a mezzanotte sotto l'orizzonte di un angolo di $7° + 11° = 18°$. Allora solamente l'oscurità è completa a mezzanotte, e si va ognor più propagando anche nella rimanente parte della giornata. Ma anche colà il ritmo giornaliero non sfuggirebbe all'attenzione di un osservatore diligente, giacchè neppure nella sua posizione più australe a mezzogiorno il Sole supera un abbassamento sotto l'orizzonte di più di $16°,5$ ($23°,5 - 7° = 16°,5$), che è inferiore a 18°, e può così rivelare l'istante del mezzogiorno a Sud, con un debole bagliore crepuscolare. Soltanto alla latitudine geografica di $90° - (23°,5 - 18°) = 90° - 5°,5 = 84°,5$ si presenta la notte completa senza crepuscolo neppure a mezzodì. Soltanto Nansen ed i suoi compagni l'hanno fin qui veduta.

Abbiamo già precedentemente avvertito, che il movimento del Sole attorno al Cielo, che è la causa della vicenda descritta del giorno e delle stagioni, avviene lungo un cerchio massimo che è detto l'eclittica. I differenti valori dell'equazione del tempo ci hanno già insegnato che il movimento del Sole lungo quel cerchio non procede con rapidità uniforme. Queste disuguaglianze possono provenire da ciò, che il Sole, oltre ad un movimento progressivo in ascensione retta, ne possiede anche uno in declinazione. Eguali porzioni dell'eclittica producono sull'equatore dei segmenti differenti. Alle epoche degli equinozi l'ascensione retta del Sole dovrebbe crescere più lentamente che all'epoca dei solstizi, anche se esso si muovesse uniformemente sull'eclittica. Questa relazione geometrica è una parte soltanto delle disuguaglianze dalle quali proviene l'equazione del tempo; ma v'ha di più: si constata che, lungo l'eclittica stessa, il Sole procede ora più rapidamente, ora più lentamente, e che esso ha precisamente il suo moto più celere al principio del nostro anno civile, e quello più lento, un semestre più tardi, al principio di luglio. A mezzo del circolo meridiano noi constatiamo contemporaneamente che il diametro del Sole, con eguale misura è precisamente massimo a gennaio, minimo a luglio. Così al primo gennaio il diametro angolare apparente del Sole è di $32' 36'',4$, ed al 1° luglio per contro di $31' 32'',0$. Da ciò segue che noi siamo più vicini al Sole in gennaio che in luglio. Si dice perciò che in gennaio il Sole si trova al perigeo (punto del suo cammino apparente più vicino alla Terra), ed in luglio all'apogeo (punto più lontano).

SOLE DI MEZZANOTTE NEL MARE POLARE

deve avere una declinazione di $90° - 83° = 7°$. L'astro del giorno a quell'epoca rasenta a mezzanotte l'orizzonte settentrionale, e si gode del curioso spettacolo del Sole di mezzanotte (Vedi qui unita tavola), del quale però a stagione più avanzata si può gioire dalle regioni della Scandinavia poste a settentrione del circolo polare artico. Lo spiegamento meraviglioso di colori che il Sole suscita rasentando lentamente l'orizzonte lungo l'immenso mare su quei campi di ghiaccio, è stato molte volte descritto entusiasticamente. Sotto la latitudine di 83 gradi, il giorno dura senza interruzione dal 7 aprile fino al 4 settembre; allora solamente a mezzanotte, esso scompare per breve tempo sotto l'orizzonte. All'equinozio di autunno, al 23 settembre, ovunque si ha 12 ore di giorno; ma già all'11 ottobre i viaggiatori polari che sono penetrati fino a quella latitudine veggono il Sole per l'ultima volta a mezzogiorno, durante alcuni minuti. Da quel momento comincia un periodo crepuscolare, senza interruzione, che si estende anche oltre la mezzanotte, finchè al 21 ottobre il Sole abbia raggiunto una declinazione australe di 11 gradi, e quindi stia a mezzanotte sotto l'orizzonte di un angolo di $7° + 11° = 18°$. Allora solamente l'oscurità è completa a mezzanotte, e si va ognor più propagando anche nella rimanente parte della giornata. Ma anche colà il ritmo giornaliero non sfuggirebbe all'attenzione di un osservatore diligente, giacchè neppure nella sua posizione più australe a mezzogiorno il Sole supera un abbassamento sotto l'orizzonte di più di $16°,5$ ($23°,5 - 7° = 16°,5$), che è inferiore a $18°$, e può così rivelare l'istante del mezzogiorno a Sud, con un debole bagliore crepuscolare. Soltanto alla latitudine geografica di $90° - (23°,5 - 18°) = 90° - 5°,5 = 84°,5$ si presenta la notte completa senza crepuscolo neppure a mezzodì. Soltanto Nansen ed i suoi compagni l'hanno fin qui veduta.

Abbiamo già precedentemente avvertito, che il movimento del Sole attorno al Cielo, che è la causa della vicenda descritta del giorno e delle stagioni, avviene lungo un cerchio massimo che è detto l'eclittica. I differenti valori dell'equazione del tempo ci hanno già insegnato che il movimento del Sole lungo quel cerchio non procede con rapidità uniforme. Queste disuguaglianze possono provenire da ciò, che il Sole, oltre ad un movimento progressivo in ascensione retta, ne possiede anche uno in declinazione. Eguali porzioni dell'eclittica producono sull'equatore dei segmenti differenti. Alle epoche degli equinozi l'ascensione retta del Sole dovrebbe crescere più lentamente che all'epoca dei solstizi, anche se esso si muovesse uniformemente sull'eclittica. Questa relazione geometrica è una parte soltanto delle disuguaglianze dalle quali proviene l'equazione del tempo; ma v'ha di più: si constata che, lungo l'eclittica stessa, il Sole procede ora più rapidamente, ora più lentamente, e che esso ha precisamente il suo moto più celere al principio del nostro anno civile, e quello più lento, un semestre più tardi, al principio di luglio. A mezzo del circolo meridiano noi constatiamo contemporaneamente che il diametro del Sole, con eguale misura è precisamente massimo a gennaio, minimo a luglio. Così al primo gennaio il diametro angolare apparente del Sole è di $32' 36'',4$, ed al 1° luglio per contro di $31' 32'',0$. Da ciò segue che noi siamo più vicini al Sole in gennaio che in luglio. Si dice perciò che in gennaio il Sole si trova al perigeo (punto del suo cammino apparente più vicino alla Terra), ed in luglio all'apogeo (punto più lontano).



SOLE DI MEZZANOTTE NEL MARE POLARE

Da un acquerello originale di *Peshuel-Loesche.*

In causa della varietà del moto solare le stagioni dell'anno hanno anche disuguale lunghezza. La massima vicinanza del Sole, e quindi anche il più celere movimento dell'astro del giorno, coincide quasi col nostro solstizio d'inverno; il Sole impiega quindi minor tempo per giungere dall'equinozio d'autunno a quello di primavera, che da questo a quello, benchè nei due casi descriva sulla sfera celeste un semicerchio esatto. Presentemente la lunghezza della primavera astronomica del nostro emisfero terrestre ammonta a 92,9 giorni; quella dell'estate a 93,6; dell'autunno 89,7; dell'inverno 89,1. Il semestre estivo è quindi di giorni 186,5; il semestre invernale per contro è lungo soltanto 178,8 giorni; la differenza fra i due è di giorni 7,7. Poichè durante il semestre invernale il Sole è più vicino al nostro emisfero terrestre che in estate, così la sua irradiazione calorifica agisce, di per sè, più energicamente che in estate, e soltanto a cagione della obliqua incidenza dei raggi, quell'aumento è assai più che controbilanciato. Ad ogni modo però, da quella causa e dalla più breve lunghezza del nostro semestre invernale, il rigore dell'inverno è mitigato per il nostro emisfero, mentre avviene il rovescio per l'emisfero australe. L'apogeo coincide quasi col solstizio invernale di quell'emisfero, la maggior distanza del Sole e la più lunga durata dell'inverno rendono questo più rigoroso che da noi, e si è perciò molto probabile che l'agghiacciamento molto più esteso delle regioni polari australi rispetto a quello delle boreali, abbia in ciò la sua ragione di essere.

Ma queste condizioni non sono invariabili. Si dice linea degli apsidi la retta che congiunge il perigeo e l'apogeo. Or bene, si verifica che ogni anno la linea degli apsidi si muove sull'eclittica di 61″,674; così che in 10.400 anni avrà la posizione esattamente opposta a quella odierna, così che allora il nostro emisfero settentrionale avrà inverni lunghi ed estremi. Se il grande agghiacciamento del polo australe è veramente una conseguenza di queste condizioni, fra 10 od 11.000 anni il nostro emisfero dovrebbe andar soggetto allo stesso destino. Presentemente la differenza fra le temperature medie delle nostre latitudini, e quelle di latitudini australi eguali, ammonta a più di 5 gradi centigradi. Ma, secondo Penk, una tale differenza basta a spiegare le apparizioni delle epoche glaciali, che a differenti intervalli di tempo hanno coperto le zone terrestri da noi abitate con ghiacciai giganteschi. Le indagini geologiche non permettono di stabilire la lunghezza degli intervalli trascorsi tra le varie epoche geologiche, ma ad ogni modo i 21.000 anni, dopo i quali, secondo le ipotesi fatte, si ripetono sopra un medesimo emisfero terrestre le stesse condizioni astronomiche, non sono in contraddizione coi fatti geologici. Però il problema delle epoche glaciali, come risulta anche dalle precedenti considerazioni sulle variazioni della latitudine, non ne sarà che più complesso, ed in esso i rapporti esaminati non entreranno che come un fattore che agisce assieme agli altri.

Anche l'*obliquità dell'eclittica*, vale a dire la massima distanza angolare del Sole dall'equatore, non si mostra costante. Per la divisione delle zone, ecc., noi l'abbiamo presa eguale a 23°,5 in cifre tonde; ma al principio del nostro secolo (1800,0) il suo vero valore ammontava a 23° 27′ 54″,8; essa poi diminuisce annualmente di 0″,47244. La teoria insegna che neppure questa diminuzione può essere costante, ma che dopo un certo tempo deve ripigliare a crescere, così che le fluttuazioni dell'obliquità dell'eclittica variano in più ed in meno entro un grado.

Da quanto precede appare immediatamente quanto questo valore influisca sulla vicenda delle stagioni. Noi vedemmo infatti che questo valore determina le linee di confine fra le zone, i circoli tropicali e polari, sugli emisferi terrestri, le quali si spostano coll'obliquità dell'eclittica. Così, ad esempio, se l'orbita solare coincidesse coll'equatore, allora non ci sarebbe più alcuna differenza fra le stagioni, perchè su tutta la Terra il giorno sarebbe costantemente eguale alla notte; la quantità media di calore che è impartita giornalmente ad un luogo della superficie terrestre dipenderebbe soltanto più dalla latitudine geografica, e non dal movimento annuo del Sole. Per contro se l'obliquità dell'eclittica ammontasse a 90°, allora le condizioni delle stagioni si trasformerebbero in quelle più eccessive immaginabili. Il Sole allora potrebbe annualmente passare una volta per lo zenit di ogni luogo della superficie terrestre e produrvi nell'estate un calore tropicale. Vi sarebbero in quel caso in tutti i luoghi delle lunghe notti polari, durante le quali il Sole non si leverebbe, e corrispondentemente dei lunghi lassi di tempo nei quali sarebbe visibile il Sole di mezzanotte. Noi vediamo pertanto che al crescere dell'obliquità dell'eclittica gli estremi delle stagioni devono divenire più spiccati. Abbiamo già accennato a queste circostanze allorchè descrivemmo le condizioni delle stagioni sul pianeta Marte. Noi le intenderemo ancora meglio quando, meglio edotti dell'obliquità delle orbite degli altri pianeti, potremo dedurne le relative conseguenze.

Anche la posizione degli equinozii, al pari della direzione della linea degli apsidi, non rimane costante rispetto alle stelle fisse. Ciò appare dal fatto che le ascensioni rette di tutti gli astri contate dall'equinozio di primavera aumentano regolarmente; secondo Bessel, quest'aumento annuo, per una stella posta sull'equatore, è di $50'',2113$. Questo fenomeno fu denominato la precessione degli equinozii. Dato il suo valore relativamente grande si comprende come esso sia stato scoperto molto presto. In ogni modo esso era conosciuto dagli astronomi alessandrini, ma per quanto si sa, Ipparco fu il primo che abbia cercato di determinarne il valore alquanto esattamente. Ma la precessione non altera uniformemente le ascensioni rette delle stelle, che anzi opera in modo tale che ne sono influenzate in ogni regione del Cielo soltanto le longitudini eclittiche, mentre le latitudini eclittiche non ne sono alterate. Noi possiamo, come segue, rappresentarci quel procedimento. Descriviamo, ad esempio, sulla superficie piana di una tavola, un cerchio, ed ammettiamo che rappresenti il piano dell'eclittica. Sopra questo cerchio sovrapponiamo una mezza sfera, come la vôlta celeste, e mettiamo in mezzo una trottola, la Terra. La trottola non deve stare verticale, ma il suo disco rotante deve essere inclinato sul piano della tavola di $23°,5$. La trottola non conserverà la sua posizione primitiva; ma se il suo asse era in principio inclinato a destra, essa ruoterà a sua volta, in guisa, che sarà ben presto inclinata a sinistra del medesimo angolo, ma durante questa rotazione, l'angolo col piano della tavola rimane costante. Questo girare dell'asse della trottola attorno ad una posizione media, così che in quel moto esso descriva la superficie di un cono, corrisponde al movimento di pressione dell'asse terrestre.

Studiando le variazioni della latitudine ebbimo già occasione di avvertire che i fenomeni prodotti da quelle sono ben differenti da quelli che derivano dalla precessione. A cagione della variazione della latitudine, la posizione di un punto

della superficie terrestre, rispetto all'equatore, cambia, sia pure in modo insignificante, al pari delle sue condizioni, rispetto al Sole ed ai limiti delle zone: il punto, attorno al quale la vôlta celeste sembra ruotare, viene spostato rispetto all'orizzonte del luogo d'osservazione dalle fluttuazioni della latitudine. La precessione per contro non altera questa altezza, il suo effetto è soltanto quello di fare

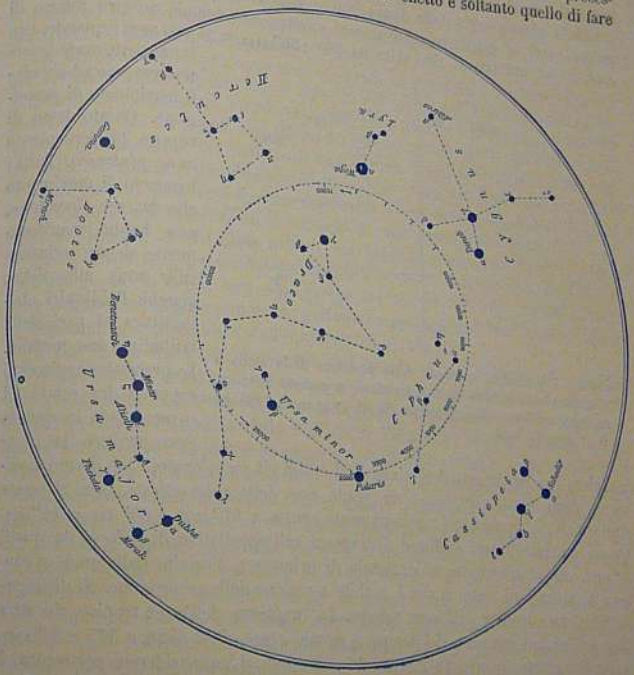


Fig. 230. — Movimento del polo celeste attorno al polo dell'eclittica prodotto dalla precessione.

che la vôlta celeste ruoti apparentemente e lentamente attorno ad un punto che dista dal polo di 23°,5, e che quindi può riguardarsi come il polo dell'eclittica. In conseguenza di ciò l'asse terrestre viene successivamente a passare per stelle differenti della vôlta celeste; nel corso dei secoli altre stelle divengono stelle polari, le quali poco o punto partecipano al movimento diurno (vedi figura 21). Così, ad esempio, Wega, che è una delle stelle più lucide del nostro emisfero settentrionale, che nella posizione attuale dell'asse polare va soggetta nelle nostre latitudini a grandi cambiamenti d'altezza, a motivo del movimento diurno, così che

essa, in certi momenti, striscia lungo l'orizzonte settentrionale, mentre in altri può quasi dirsi passare al nostro zenit, fra dodici mila anni avrà preso il tranquillo posto di stella polare, che ad un'altezza costantemente uguale sull'orizzonte sarà per i naviganti un indice celeste molto più brillante della stella di 2ª grandezza che dall'antichità adempie a questo còmpito.

Dalla piccola carta della figura 230 si vede verso quali regioni celesti l'asse polare verrà ad essere successivamente rivolto; esso compie un giro intiero di esse, in un numero di anni dato da $360° : 50'',2113 = 25.800$ anni: quando, ben inteso però, cause ignote non vengano ad alterare il movimento di precessione. Questo lasso di tempo fu denominato *anno platonico*. Tutti i fenomeni di movimento che da esso dipendono, non hanno manifestamente alcuna influenza sulle zone climatiche, giacchè l'obliquità dell'eclittica al pari della latitudine non mutano. La precessione agisce sui rapporti fra estate ed inverno solo in quanto essa produce la parte maggiore del movimento della linea degli apsidi già menzionato. Cioè il vero movimento degli apsidi riferito ad un punto fisso della vôlta celeste, non al punto equinoziale, è in un anno manifestamente eguale a $61'',674 - 50'',211 = 11'',463$. Questi movimenti veri soglionsi distinguere coll'appellativo di *siderei* da quelli *tropici*, che si riferiscono all'equinozio di primavera, l'origine dalla quale si contano le ascensioni rette, e che è mobile a cagione della precessione. Si distingue perciò l'anno tropico dall'anno sidereo. La lunghezza dell'anno tropico, che sta a base del nostro computo del tempo, è uguale, come già si disse, a $365 \times 24^h,2201$, ossia 365 giorni, 5 ore, 48 minuti, 46,17 secondi. L'anno sidereo, per contro, è alquanto più lungo, giacchè l'equinozio di primavera va incontro al Sole nel suo moto annuo, e quest'ultimo quindi, dopo aver di nuovo attraversato l'equatore, deve ancora camminare alquanto prima di ritornare alla stella medesima dalla quale dipartissi al principio dell'anno. Esso percorre questi $50'',2$ del movimento precessionale in 20 minuti, 23,2 secondi. L'anno sidereo è quindi lungo 365 giorni, 6 ore, 9 minuti, 9,4 secondi.

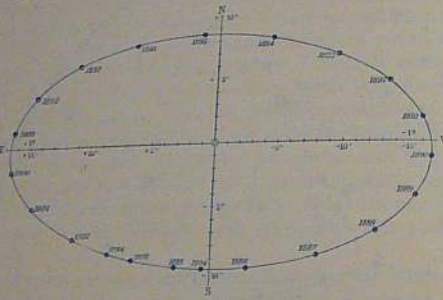


Fig. 231. — Variazioni apparenti della posizione della stella α Orionis affetta soltanto dalla precessione, a cagione della nutazione, nell'intervallo di tempo fra il 1° gennaio 1884 ed il 1° gennaio 1904.

La posizione variabile del Cielo stellato rispetto all'orizzonte del luogo d'osservazione, prodotta dalla precessione, ha dato luogo a molte ricerche storiche interessanti: particolarmente fu possibile calcolare quanti anni or sono nel nostro computo del tempo, abbiano avuto origine certe rappresentazioni delle costellazioni dello zodiaco, od anche intieri edifizi, quali le piramidi. Le costellazioni attra-

verso alle quali passa l'eclittica, furono sempre disegnate in modo speciale, giacchè questa fascia dello zodiaco fu divisa in *dodici segni*. Questi segni abbraccianti 30 gradi corrispondevano altra volta colle costellazioni corrispondenti; allora per tanto il Sole fra l'equinozio di primavera ed il solstizio d'estate percorreva i segni e le costellazioni dell'Ariete, Toro e Gemelli; quindi fino all'equinozio d'autunno quelle del Granchio, Leone e Vergine; oltre ancora fino al principio d'inverno, la Bilancia, lo Scorpione ed il Sagittario, e finalmente tornando all'equinozio di primavera, il Capricorno, l'Acquario e i Pesci.

Le divisioni dello zodiaco furono conservate negli usi del calendario, così che per abitudine antica, si dice che il Sole sta nel segno dell'Ariete, quando la sua longitudine è compresa fra 0 e 30 gradi; nel Toro quando è compresa fra 30 e 60 gradi, e così via. In realtà oggi l'astro del giorno non si trova più nelle costellazioni corrispondenti, ma indietro di una di esse. L'equinozio di primavera oggi sta nella costellazione dei Pesci; quando il Sole entra nel segno del Toro, esso si trova ancora nella costellazione dell'Ariete e così di seguito. Il nostro calendario è perciò un antichissimo documento ed una prova dell'avanzamento degli equinozi. Disegni antichi dello zodiaco, nei quali sono designate le costellazioni di quella fascia ed i punti d'intersezione dell'equatore coll'eclittica, rivelano senz'altro a mezzo di ciò la loro età, giacchè col calcolo a ritroso del movimento della precessione degli equinozi, si può trovare quando si è realmente verificata la posizione corrispondente dell'equinozio di primavera.

Il più antico fra questi documenti è il celebre zodiaco di Denderah in Egitto, [au quale i punti d'intersezione sono spostati di più di 60 gradi rispetto alla loro posizione attuale. Questi 60 gradi sono percorsi dalla precessione in 4300 anni. Quindi la rappresentazione dello zodiaco di Denderah, che fu eseguita in un antico tempio, deve appartenere come quello ad un'antichità di circa 2400 anni prima di Cristo. L'orientamento delle piramidi e dei templi della Grecia antica hanno condotto a conclusioni analoghe. Questi ultimi erano così costrutti, che durante certe feste, il Sole al suo levare illuminava direttamente la statua del dio che era eretta nel santuario. La data di queste feste veniva fissata dall'osservazione di quello che era detto il *levare eliaco* degli astri. Si diceva *eliaco* il levare di un astro, quando esso per la prima volta ritornava ad essere visibile al mattino. Per un dato luogo esso istante dipende soltanto dalla posizione del Sole nello zodiaco. A cagione del movimento annuo del Sole, una stella dello zodiaco, che oggi si leva assieme al Sole, domani sorgerà sull'orizzonte alquanto prima di esso, giacchè il movimento annuo del Sole è opposto a quello diurno. Ora, poichè la stella si leva sempre più presto, essa giungerà sempre in una zona di crepuscolo più mattutina, finchè ritorna ad essere per la prima volta visibile all'occhio nudo, dopo essere stata invisibile durante qualche mese, trovandosi sul Cielo del giorno. Questo levare eliaco avviene sempre ad una determinata distanza della Terra dal Sole, cioè in una posizione siderea di questo perfettamente determinata. A causa della precessione il *levare eliaco* di ogni stella deve manifestamente avvenire successivamente ad epoche differenti dell'anno, colle quali cambia anche il punto nel quale sorge il Sole. L'orientamento di un tempio secondo la regola sopra indicata, deve quindi nel corso di parecchi secoli essere diverso, e quindi l'orientamento che si riscontra rivela l'età.

Discorrendo del levare eliaco giova accennare che la varietà del Cielo notturno stellato nelle stagioni dell'anno è una conseguenza del moto apparente del Sole sul firmamento. Perciò vengono ad essere volta a volta in opposizione col Sole altre stelle fisse, così che queste culminano a mezzanotte. Dopo sei mesi si trova sempre di notte a Sud quella regione, che sei mesi prima fu riscontrata all'epoca corrispondente del giorno nella stessa posizione, e che per la vicinanza del Sole doveva rimanere invisibile. Merita di essere notato ancora che in conseguenza dell'obliquità dell'eclittica rispetto all'equatore, lo zodiaco è a mezzanotte dei nostri mesi invernali nella sua posizione più elevata sopra l'orizzonte, nelle notti estive per contro in quella più bassa.

Un fenomeno che nelle sue manifestazioni esterne è strettamente connesso colla precessione è quello che è detto nutazione. Questa è tale che il movimento dell'asse terrestre, non si compie esattamente, ma solo in media, sulla superficie conica tante volte menzionata. L'asse terrestre descrive intorno alla sua posizione media determinata dalla precessione e nel corso di circa 19 anni una piccola ellisse che ha per assi 19 e 14 secondi d'arco. Il vero movimento dell'asse terrestre si effettua quindi in figura ondeggiante. La posizione delle stelle fisse rispetto all'equatore, vale a dire la loro ascensione retta e declinazione, è perciò del pari soggetta oltre che alla variazione progressiva dovuta alla precessione a cambiamenti periodici con periodo di 19 anni (vedi figura 231). Perciò occorre distinguere su tal base tra la *posizione media* e quella *apparente* di una stella, o più generalmente di un corpo celeste. La posizione media si riferisce sempre ad una situazione media dell'equinozio di primavera, al principio di un anno indicato assieme alla posizione; il sito apparente per contro è riferito all'equinozio reale del momento che si considera. Questo sito apparente è però ancora spostato rispetto a quello medio da altre influenze, oltrechè dalla precessione e dalla nutazione, delle quali ci occuperemo solo più tardi. Astraendo da qualche movimento proprio, le ascensioni rette e le declinazioni quindi delle stelle fisse sono quantità variabili, che sopratutto nelle vicinanze del polo possono essere soggette a cambiare in modo relativamente forte (vedi figura 232). Si è per questa ragione che gli almanacchi astronomici dànno anche le effemeridi delle principali stelle fondamentali, affinchè gli astronomi possano subito impiegare i luoghi apparenti per le misure intraprese col loro sussidio.

La posizione del Sole rispetto all'orizzonte e la lunghezza dell'arco diurno solare variabile colla latitudine, quali li abbiamo considerate fin qui, è ora uno dei mezzi principali per orientarsi in alto mare. Per determinare la posizione geografica del bastimento servirebbero, per principio, egualmente bene le osservazioni delle stelle, come risulta dalle considerazioni del secondo capitolo di questa Parte. Ma sul mare non è possibile osservare che con istrumenti molto piccoli e che si possano tenere colla mano, coi quali riesce un lavoro piuttosto difficile, già quello di trovare una stella dal ponte del bastimento ondeggiante. Ma poichè occorre di fare frequenti verifiche della posizione del bastimento, così il Sole che si può osservare anche attraverso a nubi leggiere, presenta notevoli vantaggi sulle stelle fisse. Due altezze del Sole misurate sopra l'orizzonte del mare bastano per determinare, col sussidio dei dati del cronometro marino, la posizione della nave, cioè a calcolare la sua latitudine e longitudine geografiche.

La misura si effettua sul mare a mezzo di un istrumento denominato *sestante* o col *circolo a prisma*. Entrambi gli strumenti permettono di vedere contemporaneamente l'immagine del Sole e quella dell'orizzonte, a mezzo dell'intervento di specchi o prismi inflettenti i raggi di luce. Essi sono così disposti che movendo una parte dell'istrumento si può condurre la linea dell'orizzonte a contatto direttamente col lembo del Sole; allora una graduazione incisa sopra una porzione di cerchio, fornisce la distanza angolare dei due oggetti, e nel caso considerato quindi l'altezza del Sole. Se ora col sestante si misura l'altezza del Sole a mezzogiorno e contemporaneamente si nota l'ora segnata dal cronometro marino, quando il mezzogiorno avvenne, allora si ha quanto basta per risolvere il problema di determinare la posizione del bastimento. Ciò può essere chiarito dall'esempio seguente. L'altezza del Sole misurata a mezzodì dell'11 luglio in un punto sul mare fu di 70 gradi 4 minuti, ed il cronometro regolato sul tempo medio di Greenwich segnava 13 ore, 54 minuti, 47 secondi. Dalle effemeridi che ogni nave ha, si può vedere che la declinazione del Sole a mezzodì di quel giorno era 22°,4′; se noi sottragghiamo questo valore dall'altezza misurata del Sole, avremo che per il luogo in cui stava il bastimento al momento dell'osservazione, l'elevazione dell'equatore sull'orizzonte era di 48°; la latitudine, che è quanto occorre aggiungere a quell'angolo per ottenere 90°, è quindi di 42°. Dalle medesime effemeridi astronomiche si vede anche che l'equazione del tempo in quel giorno ammontava a 5 minuti, 13 secondi, nel senso che il mezzogiorno vero anticipa sul medio di quella quantità. Noi aggiungiamo quindi questo numero all'ora indicata dal cronometro nel-

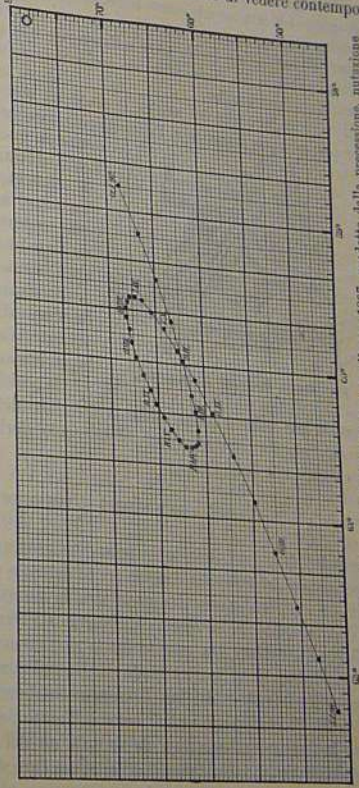


Fig. 232. — Moto apparente del sito di o Virginis durante l'anno 1897, prodotto dalla precessione, nutazione ed aberrazione. ○ = luogo medio, • = luogo apparente.

l'istante del mezzogiorno per trovare che il mezzogiorno avvenne a 14 ore di tempo medio di Greenwich, vale a dire, in altre parole, che al meridiano d'origine, quello di Greenwich, sono trascorse due ore fra l'istante del mezzogiorno colà e quello del mezzogiorno nel luogo ove sta la nave; vale a dire che la differenza di longitudine fra la nave e Greenwich è di 2 ore, ossia 30 gradi. La nave si trova quindi a 30 di longitudine occidentale da Greenwich ed a 42 gradi di latitudine settentrionale.

Si avverta però che in pratica il problema non si risolve così semplicemente come nell'esempio precedente. Prima di tutto sarebbe molto incerto il dover aspettare per questo fine il momento della massima elevazione del Sole, e per di più, al momento della culminazione l'altezza varia così lentamente, che non è possibile neppure l'afferrare praticamente con una qualche precisione lo scoccare di quell'istante. Il lettore edotto di trigonometria sferica intenderà senz'altro che due osservazioni dell'altezza del Sole, non separate da un intervallo di tempo troppo breve, bastano sempre a ricavare col calcolo la posizione dell'arco diurno del Sole; e questo a sua volta fornisce subito la direzione del meridiano e l'altezza meridiana del Sole. La considerazione del triangolo sferico fra il polo, lo zenit ed il Sole, conduce alla formola

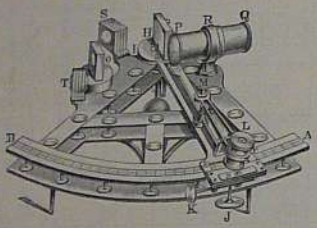


Fig. 233. — Sestante a riflessione.

$$\operatorname{sen} h = \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

in cui h è l'altezza del Sole, φ la latitudine geografica cercata, δ la declinazione sempre cognita del Sole e t l'angolo orario del Sole nell'istante dell'osservazione, cioè la sua cercata distanza dal meridiano. In questa formola noi abbiamo pertanto due incognite. Se si osserva una seconda altezza del Sole, la posizione della nave è bensì cambiata, ma quando fra le due osservazioni non intercedano più di un'ora o due, si ha sempre modo di determinare quel cambiamento di sito a mezzo della bussola e del log. Il cronometro fornisce la differenza fra i due angoli orari. Si comprende quindi come coll'ainto della formola scritta si possano ricavare le due incognite cercate da due altezze del Sole. Ora poichè i seni degli angoli piccoli variano rapidamente, così si ha cura di misurare l'altezza del Sole, quanto più presto è possibile di buon mattino, e nelle tarde ore del pomeriggio. Si calcola quindi l'istante del mezzogiorno per il luogo in cui sta la nave, e a quel momento si verifica ancora una volta col sestante la massima elevazione del Sole, giacchè la latitudine può essere meglio determinata soltanto colle altezze meridiane che col metodo prima esposto.

In quanto precede, si è ammesso che i dati del cronometro permettano di conoscere ad ogni istante il tempo medio per il meridiano d'origine. Ma ciò è vero soltanto quando gli errori del cronometro, determinati in un osservatorio prima della partenza, rimangano immutati, così che si possa con loro mezzo avere

lo stato dell'orologio, rispetto al tempo di Greenwich. In viaggio non è più possibile di trovare quell'errore almeno finchè si è in alto mare, e che la determinazione dell'errore dell'orologio è inseparabilmente congiunta colla determinazione della longitudine. Se l'orologio ha durante il viaggio variato in modo imprevisto, quella variazione non si può determinare che a mezzo dell'osservazione del segnale che dà il tempo nel porto più vicino. In molti porti questo segnale è un pallone posto sopra una torre; col mezzo dell'elettricità si può dall'osservatorio del porto farlo scendere di un tratto dalla posizione in cui si trova, e segnalare così ai naviganti l'istante esatto del mezzogiorno medio.

Le variazioni imprevedute dell'andamento dell'orologio producono durante il viaggio stesso degli errori immediati di longitudine. Per esempio, se alla fine del viaggio l'orologio risulta inesatto di 10 secondi, nella determinazione della posizione della nave ne deriverebbe un errore di $10 \times 15 = 150$ secondi d'arco, il che sotto l'equatore equivale ad un errore di 2,5 miglia marine, e nelle nostre latitudini di ancora più di 1,5. Questi possono essere all'incirca i limiti entro i quali si può, in circostanze ordinarie, ritenere nota la posizione del bastimento, senza correre pericolo. Ma in circostanze speciali questa incertezza stessa può divenire pericolosa. L'errore indicato di 10 secondi equivale in un viaggio di dieci giorni, ad una variazione nell'andamento dell'orologio, di un minuto secondo al giorno, la quale, colla precisione oggidì raggiunta non si presenta che di rado. Ad esempio, nei viaggi regolari fra l'Inghilterra e l'America settentrionale, ci si può ben fidare sul cronometro del bastimento, segnatamente se il suo andamento viene verificato a mezzo di un altro. Poichè è molto improbabile un salto repentino dell'andamento dei due cronometri contemporaneamente, così dalla deviazione notata dell'andamento dei due orologi, non si potrà sapere quale dei due cronometri abbia avuto l'errore, ma si potrà sempre però ridurre l'errore sconosciuto alla metà del suo valore, prendendo la media fra l'andamento dei due orologi. Nei più lunghi viaggi marittimi è d'uopo esigere di più dai cronometri; così se un viaggio dura 40 giorni. la variazione sconosciuta dell'andamento dell'orologio non deve ammontare a più di $\frac{1}{4}$ di secondo, precisione che durante il viaggio non è raggiunta che dai migliori orologi, mentre al saggio nell'osservatorio raggiungono una precisione ancora maggiore. All'Osservatorio di Ginevra si osserva ogni anno un gran numero di orologi da tasca, il cui andamento diurno presenta variazioni inferiori a 0,2 secondi, finchè gli orologi rimangono sotto le stesse circostanze.

Noi vediamo da ciò quanto sia importante il disporre di orologi di un'altissima precisione. Già vedemmo altrove quanto questa dipenda dalla laboriosa delimitazione delle minutissime sorgenti d'errore nelle osservazioni per la determinazione del tempo, e quest'ultima a sua volta, per una parte, dal collocamento di delicatissimi istrumenti di precisione e per l'altra dalle sottili ricerche che conducono alla conoscenza delle posizioni più esatte delle stelle fisse. Apprezzando quanto conviene l'immenso valore di orologi camminanti regolarmente per la determinazione delle longitudini in mare il parlamento inglese aveva, nell'anno 1714, istituito un premio di 20,000 lire sterline (5,000,000 di lire italiane) per il miglior metodo atto a determinare la longitudine geografica in mare; questo premio fu conferito all'orologiaio Harrison, per aver egli costrutto un cronometro

che si manteneva entro i limiti d'incertezza stabiliti. Questa fu certamente la somma più elevata che mai sia stata pagata ad un orologiaio per il suo lavoro.

Si conoscono bensì dei metodi coi quali anche indipendentemente dall'errore dell'orologio, si può determinare la longitudine in viaggio, ma però essi non hanno ancora raggiunto una sicurezza, che in circostanze normali possa paragonarsi con quella dell'andamento del cronometro, e molto probabilmente non la raggiungeranno mai. Ad ogni modo però questi metodi sono molto pregevoli e possono salvare il navigante da posizioni gravi, quando per circostanze avverse il suo orologio si fosse fermato; egli allora ignora affatto il tempo locale del meridiano di origine, ed il procedimento d'osservazione indicato non potrebbe fornirgli cognizione alcuna sulla posizione della sua nave finchè egli navigando alla ventura non abbia toccato una terra conosciuta. Si presentano in Cielo degli avvenimenti, la cui legge è stata ricercata così precisamente, che è possibile preannunziarli fino a pochi secondi. Ad essi appartengono in prima linea le eclissi dei corpi celesti. Quelle del Sole e della Luna, delle quali dovremo occuparci nel capitolo seguente, avvengono troppo di rado per poterli utilizzare in casi così eccezionali; ma i quattro maggiori satelliti di Giove offrono perciò un'opportunità molto favorevole, giacchè essi, quando Giove non sia troppo vicino al Sole, possono venir osservati comodamente con qualsiasi cannocchiale a mano. Di più quasi ogni notte avviene una di tali eclissi. Il marinaio trova nel suo annuario l'istante di tutte queste eclissi calcolati in precedenza per il tempo medio di Greenwich. Se ora egli nota l'istante dato dal suo cronometro che cammina irregolarmente, corrispondente al verificarsi di un tale avvenimento, la differenza fra l'istante della sua osservazione e quello indicato dall'annuario gli fornirà senz'altro l'errore del suo orologio, quando gli sia nota la differenza in longitudine da Greenwich. Se per altra parte egli ha determinato con misure di altezze solari la deviazione dello stato del suo orologio dal tempo che si ha nel luogo ove si trova la nave, allora egli trova immediatamente la differenza di longitudine da Grenwich. Ma l'istante dell'eclisse non scatta bruscamente, così che intorno ad esso si rimane incerti di parecchi secondi. Contemporaneamente soffre di ciò anche il calcolo preventivo, così che, come già si è notato, lo stato dell'orologio non può essere determinato con quel metodo così esattamente, come oggi è possibile farlo a mezzo di un semplice calcolo conoscendo l'andamento dell'orologio.

La stessa cosa succede col metodo detto delle distanze lunari. Negli annuari si trovano registrate, per dati istanti del meridiano d'origine, le distanze angolari della Luna dal Sole o da alcune stelle lucide. Se ora si è misurato col sestante la distanza medesima, allora con essa si conoscerà pure il tempo corrispondente del meridiano d'origine. In questo caso il calcolo preventivo è bensì possibile con tutta precisione, ma l'osservazione è difficile, ed un errore di misura nell'angolo corrispondente si trasporta, con un coefficiente grande, nel calcolo piuttosto noioso della differenza di longitudine cercata. In mare questo metodo non è guari applicabile, tuttavia esso è più frequentemente impiegato dai viaggiatori d'esplorazione, che, collocati sopra un terreno solido, possono ottenere una maggiore sicurezza nell'osservazione e ripeterla più spesso, mentre il calcolo può essere istituito dopo il loro ritorno.

In questi ultimi tempi furono per questo scopo proposti dei metodi affatto nuovi, che si basano sull'impiego della fotografia. Si può prendere una fotografia della Luna colla stella e misurare poi sulla lastra la loro distanza. In questo caso non sono possibili rilievi istantanei, la Luna e la stella descriverebbero quindi sulla lastra durante l'esposizione delle striscie oscure. Se però si è curato che nel rilievo l'apparato sia esattamente orizzontale, allora queste striscie dànno precisamente un'immagine della situazione dell'arco diurno degli astri, così che utilizzandoli con abilità, si può da una tale fotografia dedurre il tempo locale e la latitudine oltre il tempo del meridiano d'origine. Quindi, rigorosamente parlando, per una simile determinazione di posizione non occorre l'orologio. Questi metodi fotogrammetrici si sono negli ultimi tempi sviluppati in modo molto pregevole, e forniscono, specialmente nei rilievi geodetici di regioni montagnose, eccellenti risultati, in tempo molto più breve di quanto si richiedesse per lo passato.

4. — I movimenti apparenti della Luna. — La parallasse.

Dall'aspetto vario del Cielo si vede senz'altro che la posizione della Luna rispetto al Sole cambia periodicamente, che quindi il movimento della Luna sulla vôlta celeste deve essere diverso da quello, pur ora considerato, del Sole. Ogni mese noi vediamo che la falce che riappare subito dopo la Luna nuova sul cielo vespertino è ancora visibile dopo il tramonto del Sole; la Luna tiene quindi dietro al Sole nel suo movimento diurno. Essa passa al meridiano anche più tardi del Sole; la sua ascensione retta è maggiore e cresce sempre più col crescere dell'età della Luna, poichè questa si allontana sempre più dal Sole finchè all'epoca della Luna piena i due astri stanno in posizioni opposte e la Luna culmina a mezzanotte, vale a dire ha un'ascensione retta maggiore di 12 ore di quella del Sole. L'ascensione retta cresce giornalmente di 50 minuti, in cifre tonde, finchè il Sole e la Luna hanno ascensioni rette uguali, e passano contemporaneamente al meridiano, allora quando avviene la Luna nuova. Fra due avvenimenti così definiti della Luna nuova, intercedono in media 29 giorni, 12 ore, 44 minuti, 2,$_8$ secondi; quest'intervallo di tempo è detto *mese sinodico*, le epoche del verificarsi della Luna nuova e piena sono denominate *sisigie*.

Questo intervallo di tempo, che si può osservare abbastanza facilmente senza mezzi astronomici sussidiari, ma soltanto col registrare durante diecine e centinaia d'anni il ripetersi delle lune nuove, e che si imprime particolarmente nella memoria delle genti in occasione delle eclissi, era già conosciuto molto esattamente fin dai tempi più remoti. Nel suo *Almagesto*, Tolomeo dà il mese sinodico, maggiore soltanto di 0,$_4$ secondi. Ora poichè noi conosciamo già il movimento medio del Sole, sia rispetto all'equinozio di primavera o ad un punto fisso della sfera celeste, è facile il ricavare la lunghezza del mese *tropico* e *siderco* da quella del mese *sinodico:* il mese siderco è lungo 27 giorni, 7 ore, 43 minuti, 11,$_5$ secondi, mentre la durata della rivoluzione tropica è solo più corta di 6,$_8$ secondi.

Fig. 234. — Paesaggio tropicale col disco della Luna disposto verticalmente.

La perfetta concordanza del periodo della vicenda delle fasi colla rivoluzione sinodica della Luna, ci offre una dimostrazione immediata che la causa di questo avvicendarsi di fasi è il Sole. Le particolarità che si presentano in quel ciclo di vicende sono così note generalmente che non è d'uopo discorrerne che per sommi capi. Noi sappiamo che la falce lunare che ritorna ad apparire al principio è per il nostro emisfero alla sinistra del Sole, e poichè la parte illuminata della Luna deve essere sempre rivolta al Sole, così la Luna crescente ha quella forma alla quale

è applicabile la regola mnemonica seguente, che la figura della falce della Luna crescente ☽ è quella di un x privo della sua metà di destra, e quella della Luna calante per contro, che si trova a destra del Sole ☾, è quella di un x privo della sua metà di sinistra (*a*). Non avremmo accennato a questo, se viaggiatori che hanno visitato l'emisfero terrestre meridionale, non si siano molto meravigliati del fatto, che colà quelle condizioni sono invertite; ma quest'apparenza si chiarisce subito rammentando che gli archi diurni assumono, man mano che ci avviciniamo all'equatore, una posizione sempre più vicina a quella normale all'orizzonte, e che finalmente al di là dell'equatore si inclinano verso la parte opposta. Ma, come vedremo meglio, l'orbita della Luna non è molto inclinata a quella del Sole. All'equatore la Luna non si trova più a destra od a sinistra del Sole, ma bensì sopra o sotto di esso, poichè ivi gli archi diurni si elevano perpendicolarmente. Quindi la sua falce, nel primo quarto, per rivolgere al Sole tramontato la sua parte convessa deve anche contemporaneamente rivolgere questa verso l'orizzonte; essa allora appare come una navicella splendente ☺ (Vedi figura 234). Similmente nell'ultimo quarto al mattino la Luna si eleva in guisa analoga sopra l'orizzonte prima del Sole; magnifico spettacolo non concesso alle nostre latitudini. Se noi procediamo verso Sud al di là dell'equa-

Fig. 235. — Immagine della Luna crescente in un cannocchiale che rovescia le immagini. Età della Luna 5 giorni, 20 ore. Da una fotografia eseguita all'Osservatorio Lick il 23 gennaio 1893.

(*a*) [Il Traduttore si è permesso di sostituire la sua regola mnemonica, a quella data dall'autore, e che si riferisce ai caratteri della scrittura gotica tedesca, poco noti generalmente fra noi. Del resto in italiano si ha la regola:

Luna crescente gobba ponente;
Luna calante gobba levante].

tore, la falce della Luna si gira ancora, poichè ivi il Sole culmina a Nord. La Luna allora nel primo quarto si trova alla destra del Sole, e mostra la forma della nostra Luna calante c. Nei cannocchiali che capovolgono, anche tutte queste condizioni restano naturalmente rovesciate. In esse le fasi della Luna sono per l'emisfero settentrionale limitate, come appare dalle due copie dei bei fotogrammi dell'Osservatorio Lick riportate nelle figure 235 e 236.

Fig. 236. — Immagine della Luna calante in un cannocchiale che rovescia le immagini. Da una fotografia eseguita all'Osservatorio Lick il 2 agosto 1893.

Se noi teniamo dietro anche alle variazioni di latitudine della Luna, determinando col circolo meridiano le sue altezze di culminazione, allora troviamo che il suo movimento medio in Cielo si compie lungo un cerchio, che è inclinato sull'orbita del Sole di 5° 8′ 40″. Questo numero vale per il principio dell'anno 1800, e va soggetto a piccole oscillazioni. La Luna può quindi a certe epoche culminare con 5 gradi sopra il punto d'intersezione dell'eclittica col meridiano; poi essa va accostandosi sempre più all'eclittica, la attraversa dopo una settimana; dopo quattordici giorni si troverà 5 gradi sotto l'eclittica, per attraversarla di nuovo dopo 3 settimane e così via.

Dalla posizione quasi invariabile della forma della superficie lunare rispetto al lembo del disco, già deducemmo che il compagno della Terra rivolge a questa sempre la medesima faccia. Questo fatto trova la sua spiegazione in ciò, che la Luna gira sopra se stessa in un intervallo di tempo uguale a quello che essa impiega a girare attorno alla Terra. Inoltre l'asse della rotazione è quasi normale al piano dell'orbita lunare, di guisa che l'equatore lunare è appena inclinato a quell'orbita di 3° 30′, in cifre rotonde.

I punti d'intersezione dell'orbita lunare coll'eclittica sono detti *nodi*, e rispettivamente *ascendente* quello, attraversando il quale, la Luna passa dall'emisfero

australe a quello settentrionale, e *discendente* quello opposto. La linea che si può immaginare passante per queste due punti dicesi *linea dei nodi*. I nodi hanno un'importanza del tutto speciale, giacchè soltanto in essi i due grandi luminari celesti possono essere contemporaneamente dalla stessa parte od esattamente opposti, così da eclissarsi reciprocamente rispetto alla Terra. Secondo opinioni di tempi remotissimi quelle eclissi avvenivano a cagione di un drago gigantesco, ed è possibile che l'essere i nodi stati chiamati *punti draconitici* provenga da quelle false credenze, non altrimenti che la denominazione di *mese draconitico* data all'intervallo di tempo che intercede fra due successivi passaggi della Luna per uno di questi punti (*a*). Il mese draconitico è diverso dai tre mesi già menzionati, poichè la linea dei nodi dell'orbita lunare ha un movimento simile a quello dell'orbita solare che noi imparammo sotto il nome di precessione. Ma i nodi dell'orbita lunare si muovono sull'eclittica molto più rapidamente, così che in 19 anni compiono una rivoluzione intiera. Questo periodo coincide con quel periodo, entro il quale l'asse terrestre compie quelle oscillazioni periodiche che abbiamo indicate col nome di mutazione. Ci occuperemo più tardi del nesso intimo fra i due fenomeni. Un mese draconitico ha 27 giorni, 5 ore, 5 minuti, 39 secondi.

Anche per la Luna si nota quello che si è già notato per il Sole, che cioè la sua velocità in una metà del suo percorso in Cielo è maggiore che nell'altra, e che il suo diametro apparente varia contemporaneamente in modo analogo. La Luna ha quindi del pari un perigeo ed un apogeo. Inoltre la linea che congiunge questi punti, *linea degli apsidi*, ha, come per il Sole, un movimento. Dicesi longitudine del perigeo lunare, la distanza angolare dall'equinozio di primavera del punto nel quale la Luna è a noi più vicina, contata sull'eclittica. In principio del nostro secolo (1800.o) quella longitudine era di 225° 23′ 53″,1. Ma questa direzione compie un intiero giro del Cielo in 8,8505 anni. Quindi il ritorno della Luna alla sua massima vicinanza alla Terra avviene sempre 5 ore, 35 minuti, 22 secondi più tardi, che il ritorno ad una medesima stella (rivoluzione siderale). Il *mese anomalistico* che viene determinato da quella circostanza è lungo 27 giorni, 13 ore, 18 minuti, 33 secondi. In conseguenza di questo cambiamento ripetentesi del movimento lunare, la posizione del nostro satellite può precedere o tener dietro di 6° rispetto a quella che essa assumerebbe in Cielo se fosse animata da un movimento uniforme. In essenza questo fenomeno corrisponde a quello che ci è noto col nome di equazione del tempo.

La natura di tutti i fenomeni di moto della Luna fin qui descritti è analoga a quella dei movimenti del Sole: la sola differenza sta in ciò, che per la Luna la velocità è maggiore che per il Sole. Si hanno però varie particolarità del movimento della Luna, che si rivelano dipendenti dalla posizione reciproca della Luna rispetto al Sole. Innanzi tutto si riconobbe fin da gran tempo che la disuguaglianza dal perigeo all'apogeo, detta anche l'*equazione dell'orbita*, diviene maggiore, quanto più le direzioni nelle quali essi avvengono coincidono da vicino colla direzione del Sole, vale a dire quanto più prossime sono contemporaneamente alla Luna nuova ed alla Luna piena, la minima e la massima distanza della Luna

(*a*) [Il nodo ascendente dell'orbita della Luna è detto *testa del Drago*, quello discendente *coda del Drago*. (O. Z. B.)].

dalla Terra. L'equazione dell'orbita si mostra massima quando la linea degli apsidi coincide colle sisigie, minima per contro alle quadrature; la differenza coll'equazione media dell'orbita sale ad 1° 15′ e viene detta *evezione*. All'epoca della Luna nuova, quando quindi, come le eclissi insegnano immediatamente, la Luna si trova fra la Terra ed il Sole, ed è pertanto più vicina a questo, che nella posizione opposta a Luna piena, il nostro satellite si muove in modo particolarmente rapido davanti al Sole, e questo movimento viene ancora aumentato quando esso si trova al tempo medesimo particolarmente vicino alla Terra.

Una seconda ineguaglianza si verifica nelle porzioni dell'orbita lunare, che sono comprese fra le sisigie e le quadrature. Essa può salire fino a 39′ e vien detta la *variazione*. Una terza uguaglianza, che può ammontare al più ad 11′, si ripete nel corso di un anno e si chiama perciò l'*equazione annua*. Essa mostra chiaramente che la velocità del movimento lunare dipende anche dalla maggiore o minore distanza del Sole dalla Terra. A tutte queste si aggiungono poi molte altre ineguaglianze minori. Il loro complesso rende il còmputo del movimento lunare uno dei problemi più difficili dell'astronomia teorica.

Tutti questi fenomeni di movimento si dimostrano identici per ogni luogo della superficie terrestre. Per contro esistono altre particolarità che dipendono dall'altezza attuale della Luna sull'orizzonte dell'osservatore, e fanno quindi che quel corpo celeste sia dai vari punti della Terra visto in posizioni diverse della vôlta celeste. Questo spostamento o parallasse del sito della Luna agisce in modo perfettamente analogo alla rifrazione atmosferica: essa ha il suo massimo all'orizzonte stesso e scompare allo zenit. Solamente i suoi effetti hanno senso opposto a quelli della rifrazione. Quest'ultima innalza apparentemente gli astri; la parallasse per contro fa vedere la Luna tanto più in basso, quanto più è vicina all'orizzonte. Inoltre l'ammontare della parallasse è speciale per ogni astro; e per la Luna essa è precisamente di gran lunga la più considerevole, per il Sole e per i pianeti molto più piccola, e non esistente affatto per le stelle fisse. La parallasse altera anche contemporaneamente il diametro apparente della Luna. Quando questa è all'orizzonte, contrariamente all'apparenza spesso avvertita, secondo esatte misure, è di diametro minimo. Essa cresce costantemente col crescere dell'altezza ed ha il massimo diametro allo zenit. La differenza fra i diametri apparenti della Luna all'orizzonte ed allo zenit ammonta a circa un sessantesimo del suo valore. Ora, poichè il diametro medio è uguale a 31′ 8″, così la sua variazione parallattica durante il moto diurno ascende al massimo a qualche cosa più di un mezzo minuto d'arco, quantità facilissima a trovarsi coi nostri moderni mezzi d'osservazione. La posizione poi della Luna mostra uno spostamento parallattico molto maggiore. Per un luogo d'osservazione situato all'equatore essa raggiunge in media all'orizzonte il valore di 57′ 2″,1. Sotto altre latitudini, il valore medio di questa parallasse orizzontale appare più piccolo, nel rapporto medesimo, secondo il quale, a cagione dello schiacciamento della Terra, diminuisce la distanza del luogo d'osservazione dal centro della Terra. Quindi al polo questo valore è di circa 11 secondi d'arco più debole che all'equatore.

Questa dipendenza dello spostamento parallattico dalla situazione dell'osservatore sulla Terra, non lascia più dubbio alcuno, che la causa unica di questo fenomeno sia la prossimità relativamente grande della Luna rispetto alle stelle molto

più lontane, nonchè lo spostamento prospettico che da quella prossimità deriva. Quando la Luna si trova allo zenit, la linea che congiunge il centro della Luna col luogo d'osservazione, prolungata, passa per il centro della Terra; quindi non può verificarsi uno spostamento prospettico. Allora noi siamo più vicini alla Luna di un raggio terrestre, che se ci trovassimo al centro della Terra. La cosa cambia diversamente quando la Luna è all'orizzonte (vedi fig. 237). Allora la sua distanza da noi è quasi tanto grande quanto quella dal centro della Terra; per contro la verticale del luogo d'osservazione forma colla retta che congiunge il centro della Luna al centro della Terra un angolo che è inferiore a 90° del valore della parallasse. Noi vediamo subito che da un lato la parallasse dipende dal diametro terrestre, dall'altro dalla distanza della Luna, e, generalmente parlando di un astro qualunque, dalla sua distanza da noi. Se noi denotiamo con π questo angolo parallattico, con d la distanza della Luna dal centro della Terra e con r il raggio terrestre, allora si ha la semplice equazione $r = d \operatorname{tang} \pi$ (*a*). Se noi prendiamo per unità di lunghezza il raggio terrestre, vale a dire poniamo $r = 1$, allora il valore della parallasse orizzontale trovato ci dà semplicemente, sfogliando un volume di tavole trigonometriche, che la Luna dista da noi di 60,28 semidiametri dell'equatore terrestre.

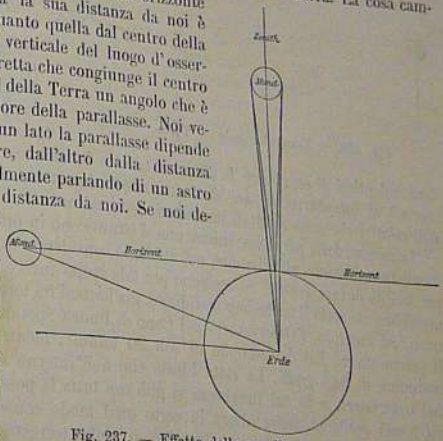


Fig. 237. — Effetto della parallasse per la Luna.
Horizont = Orizzonte. *Erde* = Terra. *Mond* = Luna. *Zenith* = Zenit.

Ora, poichè dalle misure di gradi Bessel dedusse per il raggio terrestre il valore di 6377 km., così noi otteniamo la distanza della Luna moltiplicando fra loro i due ultimi numeri scritti, ed il prodotto loro è 384.400 km. Noi vediamo qui per la prima volta un fatto, nel quale c'imbatteremo ancora più spesso nel corso delle nostre considerazioni, che cioè è sempre più facile e sicuro il trovare il valore relativo di una quantità astronomica, che non il suo valore assoluto. Il rapporto numerico tra la distanza della Luna ed il diametro terrestre si può determinare mediante osservazioni relativamente poco numerose, istituite in un medesimo punto della superficie terrestre, a mezzo dello spostamento parallattico della Luna dall'orizzonte meridiano. Ma se si vuol poi ricavare quella distanza espressa, anche solo in modo approssimativamente esatto, in chilometri, allora diventano necessarie tutte le incomode e laboriose operazioni che noi vedemmo

(*a*) [Questa formula non è quella data nei trattati, che è $r = d \operatorname{sen} \pi$: d essendo veramente la distanza fra il centro della Terra e quello della Luna, che si intende di determinare. (O. Z. B.)].

costituire una misura di grado. Naturalmente qui parliamo della determinazione della grandezza in questione rispetto al metro della Convenzione; poichè stando alla primitiva definizione del metro, quale la diecimillionesima parte del quadrante terrestre, noi non abbiamo più bisogno di alcuna misura assoluta per convertire in chilometri una distanza celeste trovata con misure parallattiche relative, solamente in questo caso non sappiamo con tutta precisione quanto sia lungo un chilometro. In causa di questa incertezza sulla vera lunghezza del metro, per rapporto al diametro terrestre, gli astronomi evitano volentieri di esprimere le distanze trovate in chilometri, miglia, ecc., perchè con ciò si introdurrebbe nei dati una nuova incertezza, ma stanno contenti ai dati relativi che sono risultati immediati della misura.

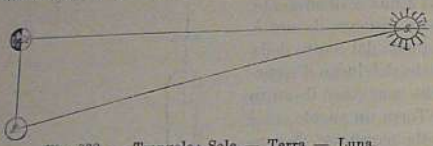


Fig. 238. — Trangolo: Sole — Terra — Luna.

Le misure della parallasse lunare non si istituiscono in pratica, come si può facilmente comprendere, all'orizzonte; noi abbiamo considerato questo caso più semplice per facilità di esposizione. Si scelgono per tale scopo invece due osservatori situati possibilmente sotto il medesimo meridiano, ma lontani fra loro quanto più è fattibile, quali, ad esempio, l'Osservatorio del Capo di Buona Speranza e quello di Berlino. Il primo sta ad Est del secondo di soli 20 minuti; mentre distano fra loro in latitudine di 86,5 gradi. La retta ideale che nell'interno del globo congiunge i due osservatori, e la cui lunghezza si può con tutta la possibile esattezza dedurre dai lavori geodetici, serve allora in certo qual modo come base di una misura trigonometrica, che si spinge molto oltre il globo terrestre, ma che ciò malgrado può eseguirsi teoricamente colla stessa precisione come sulla Terra. Però la teoria medesima mostra che i risultati divengono tanto più incerti, quanto più piccolo è l'angolo che sta al vertice inaccessibile del gigantesco triangolo, nel caso nostro al centro della Luna. Nei lavori di triangolazione sulla Terra, in nessuna circostanza si ammetterebbe in un triangolo un angolo di meno di un grado, quindi della grandezza della parallasse lunare: ma nelle misure celesti non è possibile la scelta. Per tutti gli altri corpi celesti la parallasse si addimostra ancora più piccola; quella del Sole, ad esempio, non è già più che di 8,85 secondi. Noi vedremo più tardi quanti sottili ed estesi lavori siano stati necessari per determinare un angolo così piccolo, fino ad un centesimo di secondo.

Dal diametro apparente della Luna e dalla sua corrispondente parallasse, noi possiamo anche ricavare il vero diametro della Luna, dapprima in parti del diametro terrestre, e poi, applicando i risultati geodetici, in chilometri. Torniamo perciò a considerare il disegno che ci condusse per la parallasse alla relazione $r = d \operatorname{tang} \pi$, e supponiamo che r sia il vero diametro della Luna, e π il suo semidiametro angolare misurato dalla Terra, e che per distinguere dai dati precedenti designeremo con r_1 e D, allora avremo anche l'equazione $r_1 = d \operatorname{tang} D$, ossia, eliminando d dalle due equazioni, col dividere l'una per l'altra

$$\frac{r}{r_1} = \frac{\operatorname{tang} \pi}{\operatorname{tang} D},$$

ossia, poichè qui si tratta sempre di angoli molto piccoli pei quali le funzioni trigonometriche sono proporzionali all'angolo, semplicemente

$$\frac{r}{r_1} = \frac{\pi}{D}.$$

Ciò si esprime a parole dicendo: il rapporto tra il raggio terrestre e quello di un dato corpo celeste è uguale a quello tra la sua parallasse ed il suo semidiametro angolare misurato. Per la Luna noi deduciamo da questa formola che il suo diametro è uguale a $0{,}273$ quello della Terra, ossia uguale a 3480 km.

Si comprende come gli uomini abbiano cercato molto presto di scoprire qualche cosa intorno alle distanze degli astri che ci circondano. Il primo che s'accinse a risolvere questo problema con considerazioni geometriche fu il sagacissimo Aristarco, del quale avremo ancora occasione di ammirare le vedute illuminate sulla costituzione dell'universo. Egli rifletteva assennatamente che nei momenti nei quali avvengono il primo e l'ultimo quarto della Luna, quando cioè questa sembra divisa esattamente per metà, e la linea di separazione luminosa è una linea retta, l'angolo fatto al centro della Luna dalle rette, che lo congiungono rispettivamente coi centri del Sole e della Terra, doveva essere retto. Se si immagina il triangolo formato dai tre centri dei corpi celesti (Fig. 238) i suoi tre angoli saranno conosciuti quando si misuri dalla Terra l'angolo formato dalle rette che dal centro di essa vanno rispettivamente ai centri del Sole e della Luna. Ora, conoscendo i tre angoli di un triangolo, e prendendo per unità di lunghezza la lunghezza di uno dei suoi lati, si possono calcolare le lunghezze relative degli altri due. Così si trova anche il rapporto della distanza del Sole da noi a quella della Luna da noi. Aristarco cercò di misurare l'angolo sotteso dalla retta congiungente i centri del Sole colla Luna, all'epoca del primo quarto. Egli lo trovò uguale ad 87° e concluse che il Sole doveva distare da noi da 18 a 20 volte più della Luna, Questo valore era però falso, poichè quell'angolo non è di 87° ma di 89° 50', col che il rapporto delle due distanze diviene 1 : 344. Noi abbiamo qui di nuovo un esempio, del come a mezzo di misure d'angoli si possano determinare esattamente i rapporti di grandezze che non si conoscono.

Noi impareremo più tardi nuove determinazioni delle distanze dei corpi celesti.

5. — Il Calendario.

Per la vita sociale dell'umanità, ed al fine di poter raccogliere per il lavoro in comune i vari membri della Società umana, fu ben presto necessario di ripartire con divisioni speciali l'intervallo di tempo fra il sorgere ed il tramontare del Sole; così fu d'uopo anche di ordinare in modo sistematico i giorni fra loro, per potere in qualche guisa fissare in precedenza le feste da solennizzarsi, e nelle quali la popolazione voleva adunarsi nei luoghi principali. In una tale previsione per tutto un paese, non vi era alcun mezzo più notevole e sicuro che la forma variabile della Luna, che specialmente nelle regioni terrestri meridionali, nelle

quali la civiltà cominciò a svilupparsi, può essere ogni notte da ciascuno osservata. La Luna fu perciò l'astro che, fin dai più remoti principi del còmputo del tempo, fu scelto da tutti i popoli come il regolatore esclusivo di esso, e lo è oggi ancora presso i Mussulmani. Il mese sinodico divenne, dopo il giorno, la più elevata unità di tempo. In sul principiare si determinava ogni volta direttamente il principio del mese coll'osservazione della riapparizione della falce; si avvertì subito che ciò avveniva abbastanza regolarmente alternativamente ogni 29 e 30 giorni, poichè il mese sinodico è maggiore di soli 44 minuti di 29 giorni e mezzo. I mesi ebbero quindi affatto di per sè la loro lunghezza. Però talvolta, a cagione del cattivo tempo, si era in dubbio se un dato giorno fosse l'ultimo di un mese od il primo del successivo. Perciò si finì per affidare ai sacerdoti l'incarico di determinare ogni volta il cominciare di ciascun mese e di annunziarlo pubblicamente. Da *calare*, annunziare, fu chiamato *calendae* il primo giorno; da queste poi la nostra denominazione di *calendario*. Questo annunzio si fa ancora oggi presso i Mussulmani, i cui mesi, come presso gli Indiani, cominciano sempre precisamente un giorno dopo la Luna nuova. I quattro quarti della Luna, che si seguono ad intervalli di circa sette giorni, possono essere stati quelli che hanno fornito la misura per la formazione di quella ripartizione del tempo che è la settimana. L'incertezza poi che rimaneva, nel dominio di un esteso paese, intorno al principio del mese, finchè questo non era regolato da alcuna regola inviolabile, ma era determinato dalla sola osservazione diretta, condusse all'uso che le grandi feste erano solennizzate sempre durante due giorni, affinchè la gente che veniva da lontano potesse godere ancora di almeno uno dei giorni festivi.

Ma i popoli che coltivavano la terra, e particolarmente gli Egiziani, sentirono ben presto la necessità di provvedersi di un calendario, che concordasse più col Sole che colla Luna, giacchè essi dovevano governare i loro lavori dei campi esclusivamente secondo il Sole. Si pensò quindi di raggruppare in un anno un certo numero di mesi, cioè di scegliere una unità di tempo maggiore. I dati della Bibbia ci mostrano, al pari di altri indizi, che presso i popoli più antichi, l'anno, quale noi lo intendiamo, non esisteva, ma che il mese ne faceva le veci; lo attestano sopra tutto la grave età raggiunta da molti patriarchi di novecento e più anni; molto probabilmente non abbiamo qui che da sostituire la parola mese alla parola anno.

Ma molte difficoltà si oppongono alla soluzione del problema di misurare l'anno solare e col giorno solare e col mese lunare, giacchè i rapporti dei tre periodi che stiamo considerando, giorno, mese ed anno, non possono esprimersi con rapporti di numeri intieri. Nella Grecia più antica si stette contenti a raggruppare in un anno di 354 giorni 12 mesi, alternativamente di 29 e di 30 giorni. I Turchi hanno conservato questo calendario semplice fino ai nostri giorni; per mantenersi poi più d'accordo ancora col giro della Luna, essi hanno introdotto un anno intercalare di 355 giorni. I mesi di 30 giorni erano detti *pieni*, *scemi* quelli di 29. Se si computa l'anno solare provvisoriamente di 365 giorni, allora ogni anno rimane indietro di 11 giorni rispetto allo stato del Sole. Per porre rimedio a questo sconveniente stato di cose, probabilmente Solone, nell'anno 594 a. C., stabilì che ogni due anni s'intercalasse un tredicesimo mese pieno. Con ciò l'anno venne ad avere in media 369 giorni; era quindi in errore solo di 4 giorni, e

non già di 11 come prima, ed il mese medio era lungo 29,52 giorni: era quindi esatto fino ad un quarto d'ora.

Quell'errore di quattro giorni doveva però presto rendersi sensibile; perciò fu generalmente accolto il ciclo introdotto da Metone, astronomo ateniese, nell'anno 433 a. C., ciclo che teneva realmente conto dei movimenti del Sole e della Luna, nel miglior modo concesso dalle cognizioni che intorno ad essi si possedevano a quei tempi. Il ciclo di Metone, che oggi ancora ha una certa parte, abbraccia 19 anni, entro i quali i mesi avevano d'ordinario lunghezze, alternativamente di 29 e 30 giorni, ma gli anni 3, 5, 8, 11, 13, 16, 19 portavano aggiunto un mese intercalare ed inoltre a certi intervalli si avevano due mesi consecutivi pieni. Quindi il ciclo di Metone conteneva 234 mesi con 6940 giorni. Il mese medio era quindi di 29,532 giorni, cioè maggiore soltanto di due minuti di quanto dovrebbe essere: l'anno era uguale a 365,263 giorni, cioè troppo lungo di una mezz'ora.

In complesso ed all'ingrosso gli Ebrei tengono oggi ancora questo circolo di Metone. A mezzo di altre intercalazioni il mese medio degli Ebrei è divenuto diverso soltanto di un mezzo secondo dalla vera durata della rivoluzione sinodica della Luna. Le rimanenti disposizioni del calendario ebraico sono molto complicate, non servono che a scopi rituali, e non possono qui trattenerci ulteriormente; è però degno di nota che una ripartizione dell'anno, molto simile al ciclo di Metone, sia, secondo gli annali chinesi, stata introdotta nel celeste impero già fin dall'anno 2600 a. C.

Queste disposizioni del calendario si dimostrarono però col tempo, per un rispetto troppo poco semplici, e per l'altro non abbastanza esatte. Il computo greco del tempo si era inoltre trasfuso solo incompletamente in quello romano, così che ai tempi di Giulio Cesare l'equinozio di primavera, colla quale epoca si soleva allora principiare l'anno, cadeva ben 85 giorni più tardi di quanto era indicato dal calendario. Il grande capitano volle mettere ordine anche in questa faccenda, ed a tal fine chiamò a sè l'astronomo Sosigene da Alessandria, che allora fioriva come la città dotta per eccellenza. Così ebbe origine quella che fu detta la riforma giuliana del calendario, che fu tradotta in atto nell'anno 707 dell'èra romana, ossia nell'anno 47 a. C. Per prima cosa vennero aggiunti a quell'anno 85 giorni per ritornare ad essere d'accordo col Sole. Si può facilmente intendere che ciò fece nascere nella vita civile molte difficoltà, per il che quell'anno fu detto l'anno della confusione. La parte essenziale però della riforma consisteva nell'aver del tutto abbandonato l'anno lunare, il che era necessario volendo raggiungere una disposizione semplice del calendario. La determinazione esatta del calendario fece sì che non era neanche più necessario nello stabilire le feste, di leggere in certo qual modo direttamente in Cielo il giorno del mese, come pure era forza fare prima, giacchè ognuno poteva avere in casa sua un almanacco. Per rimanere il più che era possibile d'accordo col Sole si diedero all'anno 365 giorni, però così che ogni quattro anni avvenisse un'intercalazione. L'anno medio giuliano ha quindi 365 giorni, 6 ore, 11 minuti, ed era troppo lungo di 11 minuti. 14 secondi. La sottodivisione del mese fu conservata, ma ad 11 mesi si aggiunse un giorno per portare i 354 giorni dell'anno lunare a divenire i 365 di quello giuliano. Da ciò derivò la pratica presente di alternare mesi di 30 e di 31 giorni, con eccezione del mese di febbrajo, che a quei tempi era l'ultimo dell'anno. Ma i mesi che oggi ancora

rivelano colla loro varia lunghezza lo scopo loro primitivo di mantenersi d'accordo colla Luna, non lo conseguono più affatto. Sarebbe perciò oramai tempo di rompere del tutto con questa pratica invecchiata ed oggimai senza significato.

Quindi il calendario giuliano nella sua forma originaria non aveva relazione di sorta colla Luna. Soltanto quando esso venne adottato dalla Chiesa Cristiana, la determinazione della festa di Pasqua, attinta al calendario ebraico, divenne di nuovo nel calcolo di esso una conseguenza del corso della Luna. Nell'anno 325, il concilio di Nicea stabilì che l'equinozio di primavera dovesse cadere sempre nel giorno 21 marzo del calendario giuliano, e che la festa di Pasqua dovesse celebrarsi nella domenica che veniva dopo il plenilunio successivo a quella data.

Poichè l'anno giuliano di 365 giorni e 6 ore è più lungo dell'anno tropico di un centoventinovesimo di giorno, così dopo alcuni secoli si avvertì l'errore proveniutone nel calcolo del tempo rispetto al corso del Sole. Col tredicesimo secolo le proposte di riforma del calendario si vengono facendo ognor più frequenti. I Papi incominciarono ad interessarsi vivamente alla riforma di esso, e finalmente nel 1582, Gregorio XIII si decise di attuarla. Fu convocata in Roma una Commissione di dotti, e fu stabilito che la differenza di 10 giorni, di nuovo trascorsi, dovesse venire eliminata cancellando dal calendario dell'anno 1582 i giorni tra il 5 ed il 14 ottobre; e che al fine di dover eseguire cotali correzioni soltanto dopo lunghi intervalli di tempo si dovesse in avvenire tralasciare di fare anno bisestile ogni anno secolare, il cui numero d'ordine non fosse esattamente divisibile per quattro. Pertanto l'anno 1600 fu bisestile, come al solito, mentre non dovevano esserlo gli anni 1700, 1800, 1900, ma lo sarà di nuovo il 2000. Con ciò l'errore medio del calendario giuliano di 11 minuti 14 secondi all'anno, fu diminuito di 22 secondi. Soltanto fra 3900 anni quell'errore accumulandosi ascenderà ad un giorno, così che il calendario gregoriano soddisferà per lunghissimo tempo a tutte le esigenze della vita.

Trascorse però molto tempo prima che questa riforma venisse alquanto diffusamente accolta; e, come si sa, le nazioni greco-cattoliche hanno conservato fino ad oggi il calendario giuliano, così che in Russia, ad esempio, le date sono indietro di docici giorni rispetto alle nostre. A partire dal secolo ventesimo questa differenza salirà a 13 giorni, e ciò perchè da noi l'anno 1900 non sarà bisestile, mentre lo sarà presso i Russi. A loro volta poi si furono i paesi protestanti che, a cagione delle contestazioni connesse col calendario, preferirono conservare il calendario pagano di Giulio Cesare, piuttosto che accettare quello sanzionato dai Papi. Solo nel 1700, dopo l'energico pronunziamento di Leibniz ed altri, il nuovo calendario fu introdotto in Germania. La riforma incontrò grandi difficoltà anche in Inghilterra, dove secondo l'usanza antica il principio dell'anno coincideva allora sempre ancora coll'equinozio di primavera al 26 marzo. Nel 1751 si accettò anche colà il nuovo calendario, ma quell'anno dovette venir accorciato di circa tre mesi.

La determinazione della festa di Pasqua non fu cambiata dal calendario gregoriano; malgrado ciò le Pasque russe ricorrono per lo più in un giorno differente dalle nostre, poichè la data del principio della primavera è un'altra secondo il calendario greco, e quindi la così detta Luna piena pasquale può in date circostanze essere diversa di una intiera lunazione. Per la determinazione della data

della nostra Pasqua, Gauss diede, ai suoi tempi, una regola relativamente semplice, che può essere riprodotta qui anche senza spiegare la sua connessione colle corrispondenti prescrizioni della Chiesa. Si divida il numero che rappresenta l'anno per 19, e sia a il resto; quindi per 4 e sia b il resto; finalmente per 7 e sia c il resto. Si moltiplichi ora a per 19, si aggiunga al prodotto un certo numero x, che varia coi secoli e che daremo qui sotto. Si divida questa somma, cioè $19\,a + x$, per 30, e sia d il resto; si faccia ora la somma $2\,b + 4\,c + 6\,d + y$ (y è pure un numero che cambia coi secoli). Si divida quella somma per 7 e sia e il resto. La data della Pasqua è allora uguale a 22 marzo $+ d + e$. I numeri x ed y sono:

	1583—1699	1700—1799	1800—1899	1900—2099
$x =$	22	23	23	24
$y =$	2	3	4	5

Per il calendario russo, e quindi per le Pasque russe, vale la stessa forma, solo allora sono costantemente $x = 15$ ed $y = 6$.

Dalle regole stabilite risulta che la Domenica di Pasqua può essere compresa tra il 22 marzo ed il 25 aprile; ora poichè molte disposizioni civili, come ad esempio, i trimestri scolastici, debbono venir stabiliti secondo la posizione della festa di Pasqua, così le variazioni molto notevoli di questa producono incomodi ed inconvenienti, la cui eliminazione tornerebbe gradita a molti. In causa di queste fluttuazioni della festa di Pasqua, e delle menzionate disuguaglianze arbitrarie della lunghezza dei mesi, si vanno facendo ognor più frequenti le proposte di una riforma del calendario. Si vorrebbe col cambiamento di secolo introdurre un nuovo calendario, alla quale aderirebbero forse anche i paesi greco-cattolici.

Non vogliamo chiudere questo capitolo, senza far cenno del calendario della Rivoluzione francese che, introdotto violentemente come tutte le altre innovazioni di quel tempo e senza alcuna giustificazione, non potè durare a lungo. Questo calendario, astronomicamente, è senza alcuna importanza. Il nuovo anno di esso fu ripartito in 12 mesi con nomi nuovi, di 30 giorni caduno, ai quali furono aggiunti 5, e negli anni bisestili 6, giorni festivi per ragguaglio (*Jours sansculottistes*). I 30 giorni d'ogni mese erano ripartiti in 3 decadi, settimane di 10 giorni, ma i 5-6 giorni complementari erano lasciati fuori delle decadi. Questo calendario fu in vigore dal 1792 al 1806, ma siccome fin da principio era piaciuto poco, così dopo un ardito attacco di Lalande si fece ritorno, con generale soddisfazione, al calendario gregoriano.

[Le nozioni date nel testo circa l'adozione del calendario gregoriano in Inghilterra non sono completamente esatte. Riportiamo qui un brano del libro *Outlines of Astronomy* del celebre astronomo inglese John Herschel *jun.* ove esse sono date secondo verità. " In Inghilterra " il cambiamento di stile „ come fu chiamato, avvenne dopo il 2 settembre 1752, essendosi allora soppressi nominalmente undici giorni; così che l'ultimo giorno del vecchio stile essendo il 2, il primo del nuovo stile (il giorno successivo) fu denominato il 14 invece che il 3. La stessa disposizione legislativa che stabiliva per l'Inghilterra nel 1752 il calendario gregoriano, abbreviò l'anno precedente, 1751, di un intero trimestre. Prima di quell'epoca, l'anno incominciava col 25 marzo, e l'anno A. D. 1751 ebbe egual

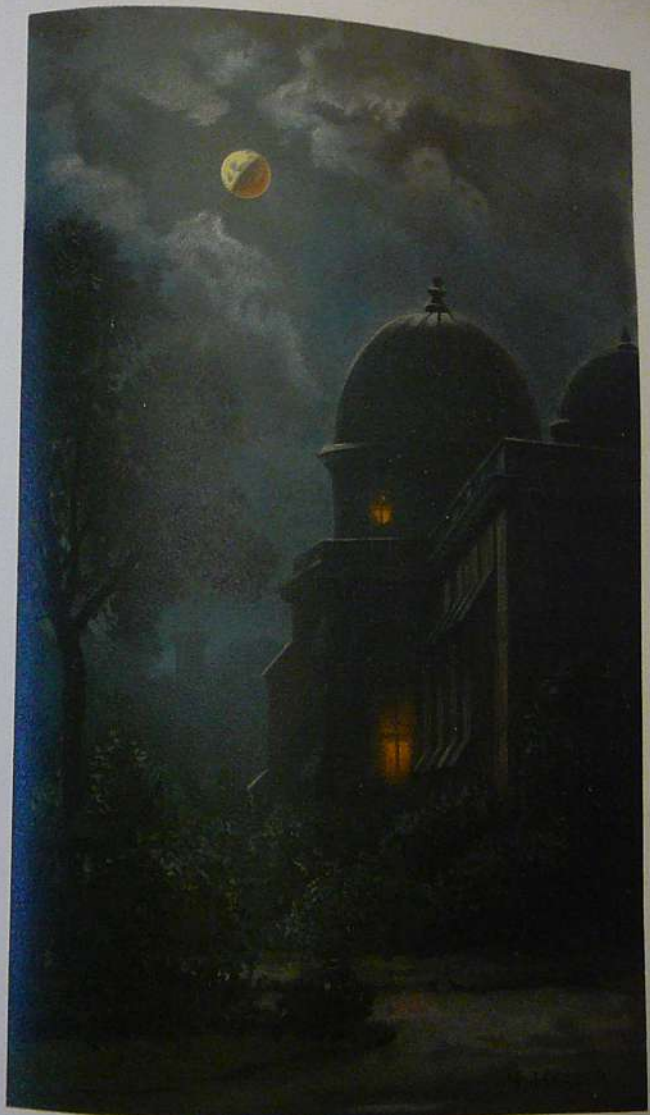
principio naturalmente; ma non si permise che quell'anno terminasse, ed al 1° gennaio fu sostituito dall'anno 1752, che si stabilì dovesse (al pari di tutti gli anni futuri) cominciare in quel giorno; così il nostro anno inglese 1751 fu veramente "annus confusionis „, e non contò che 282 giorni „. (O. Z. B.)].

6. — Le eclissi di Luna e di Sole.

In tutti i tempi l'indicazione delle eclissi di Sole e di Luna per un dato anno fu una delle parti essenziali del calendario, nè oggi è altrimenti. Poichè il calendario fu sempre intieramente legato alle cose religiose e del rito, e d'altra parte ogni religione derivò dall'adorazione degli astri, così le eclissi furono sempre di grande importanza e causa di sgomento alla gente. Se oggi essi hanno perduto in questo senso la loro importanza, appartengono però sempre ai più interessanti fenomeni che il firmamento ci possa esibire.

Le eclissi tanto di Sole quanto di Luna, possono essere *parziali* o *totali*; ad ogni eclisse totale precede e tien dietro una fase parziale. In un'eclisse di Luna, ed ognuna di queste si verifica sempre a Luna piena, noi vediamo il disco intieramente illuminato oscurarsi lentamente dal suo lembo orientale. Però molto raramente scompare tutta la luce della Luna, per lo più essa si mostra quale sarebbe se stesse dietro ad un disco trasparente rossastro, che lasciasse ancora riconoscere i tratti essenziali della sua superficie. L'impressione che all'occhio nudo cagiona un'eclisse parziale di Luna, è riprodotta nella qui annessa tavola colorata. Col progredire dell'eclisse la Luna viene ognor più ad essere coperta da quel disco supposto, il cui contorno invariato rimane quello di un cerchio che abbia un diametro due volte e mezzo maggiore di quello della Luna stessa. La diminuzione della piena lucidità procede quindi in modo affatto diverso da quanto avviene nelle ordinarie vicende delle fasi, come lo si può vedere dalla figura 239. Non sempre la Luna scompare dietro a quel supposto disco così che i due centri vengano a sovrapporsi, come è il caso delineato nel nostro disegno, ma nella massima parte dei casi, il disco della Luna rimane più alto o più basso di quello fittizio, così che bene spesso non ne resta intieramente occultato. Così si generano le tre specie di eclissi lunari, le centrali-totali, le totali e le parziali.

È l'ombra della Terra che diffonde quella rossa tinta sulla superficie lunare all'epoca delle eclissi. Se la Terra non fosse avvolta da un inviluppo aereo, l'ombra che si trascina dietro, dovrebbe essere affatto nera. Non c'è di fatti ragione per la quale sulla Luna debba ancora cadere luce d'una natura qualsiasi, quando i raggi del Sole sono impediti di giungere ad essa. Sul cielo della Luna, l'irradiante disco del Sole sta in mezzo alla più cupa profonda notte, nella quale splendono le stelle anche di giorno: giacchè la colorazione azzurra del nostro Cielo terrestre è prodotta soltanto dalla dispersione della luce nel nostro involucro aereo. Tutt'al più nella colorazione del nostro Cielo può avere ancora una parte, una tinta azzurra propria dell'aria o del vapore d'acqua sospeso in essa. Sulla Luna quest'aria manca o tutt'al più vi è presente in quantità così scarsa



ECLISSE PARZIALE DI LUNA

Disegno originale di *H. Harder*.

che i suoi effetti ottici si potrebbero tanto poco constatare anche sulla sua superficie, come dalla Terra coi nostri mezzi più squisiti potremmo scoprirne appena le traccie. Se quindi il Sole passa dietro al disco della Terra più largo di 3 volte e $^3/_4$, allora non rimane più, come sulla Terra, neppure una luce crepuscolare. Il Cielo vi apparirà tanto più oscuro, quale è riprodotto nella nostra rappresentazione ideale di un'eclisse di Sole sulla Luna, la quale succede contemporaneamente

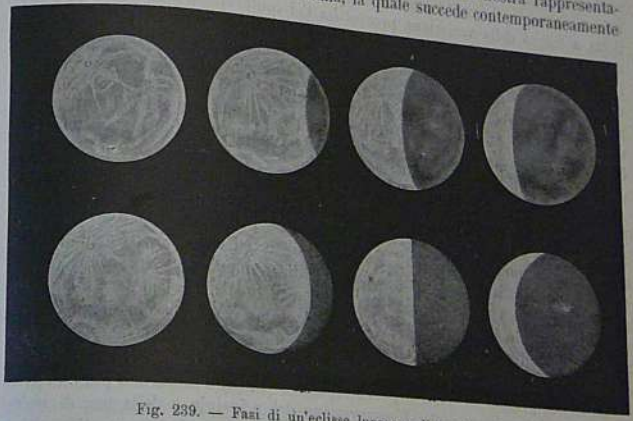


Fig. 239. — Fasi di un'eclisse lunare e di una lunazione.

ad un'eclisse di Luna sulla Terra (vedi tavola *Eclisse di Sole sulla Luna*). In quel quadretto fu scelto e rappresentato l'istante nel quale per la Luna incomincia precisamente la totalità; solo alcuni raggi della corona oltrepassano il lembo del disco della Terra. Sul fianco sinistro del paesaggio la totalità non è ancora avvenuta, il Sole si mostra ancora più in contrasto colla parete montuosa profondamente intagliata del contorno del cratere; ma sulla destra giunge rapidamente l'ombra della Terra ed attraversa l'ampia spaccatura del solco che si spalanca sul davanti. A quell'epoca la Terra, poichè essa sta precisamente fra il Sole e la Luna, deve rivolgere alla Luna la sua parte in notte. Essa è tutt'intorno circondata dalla zona del crepuscolo, nella quale noi vediamo la deliziosa tinta dei crepuscoli del mattino e della sera. Il margine della Terra deve apparire anche agli altri abitatori dell'universo, più o meno tinto in rosso, secondo che nella regione corrispondente dell'atmosfera sta sospesa maggiore o minor quantità di vapore d'acqua, che è quello che produce i fenomeni crepuscolari colorati. E questo lembo rosso è quello che diffonde la sua luce nell'ombra terrestre e la proietta sulla Luna eclissata.

Secondo questa spiegazione l'intensità della colorazione rossa della Luna eclissata è differente ad ogni eclisse, e non è soggetta ad alcuna regolarità determinata. Essa può anche occasionalmente mancare completamente, così che la Luna resta quasi invisibile, oppure può altra volta tendere più al colore azzurro.

Poichè sopra la spiegazione di questa tinta rossa non può sorgere alcun dubbio, noi non possiamo contestare alla nostra rappresentazione artistica un certo valore di verità, ed in un certo senso affermare che essa è stata tratta dalla natura. I mezzi sussidiari della ricerca rigorosa ci aiutano in questo caso a spingere il nostro sguardo sopra un altro mondo. In un precedente capitolo abbiamo imparato a conoscere le conformazioni superficiali della Luna, ed il pittore l'ha riprodotta a mezzo della variazione prospettica dei contorni; la grandezza apparente della Terra sul cielo lunare, rispetto a quella del Sole, si può determinare con tutta esattezza a mezzo della tante volte menzionata misura di parallasse; la tinta oscura del cielo rappresentato è dimostrata necessaria dalla mancanza di rifrazione al lembo della Luna; nei nostri cannocchiali poi noi osserviamo direttamente il diffondersi della luce rossa sul paesaggio della superficie lunare, quale è qui riprodotto per un punto d'osservazione situato sulla Luna, solo con punti di vista cambiati.

A questa rappresentazione di un'eclisse solare sulla Luna, corrispondono anche le circostanze che producono sulla Terra un'eclisse solare; solamente qui è la Luna che sta fra il Sole e la Terra. Ora poichè i diametri apparenti dei due corpi celesti sono poco differenti l'uno dall'altro, ed oltre ciò, a cagione della variabile nostra distanza da essi sono variabili, così può accadere, come svolgeremo meglio più tardi, che un'eclisse centrale di Sole non sia totale, e ciò precisamente quando il diametro apparente della Luna è più piccolo di quello del Sole. Quindi oltre alle eclissi parziali di Sole, noi distinguiamo anche quelle totali ed anulari.

Le eclissi parziali di Sole, al pari di quelle di Luna, non offrono più all'astronomo alcun interesse speciale. L'osservazione del principio e della fine di un'eclisse di Luna, fu tutt'al più fino alla scoperta del telegrafo ancora di qualche importanza, perchè quei fatti avvengono per tutta la Terra nel medesimo istante fisico, così che essi possono servire come segnali per la determinazione della longitudine geografica. Oggi questo metodo darebbe risultati troppo inesatti. Oramai le eclissi di Luna non servono più che a permettere di osservare, mentre avvengono, i passaggi del nostro satellite davanti a stelle fisse, che splendono di luce così debole, che per noi scompaiono anche nei cannocchiali già in prossimità del lucente disco lunare. L'osservazione di eclissi parziali di Sole non si può utilizzare nè in questo modo nè nell'altro.

Per contro le eclissi totali dell'astro del giorno ci esibiscono una serie di fenomeni notevolissimi e si presentano agli astronomi così raramente ed in posizione specialissima, che tali fenomeni celesti saranno sempre l'occasione di spedizioni preparate e fornite con ogni cura. Soltanto verso la metà del nostro secolo, quei fenomeni incominciarono a destare l'interessamento degli astronomi; come avvenne nell'eclisse totale di Sole del 1842, la cui zona di totalità attraversava tutta l'Europa e l'Asia. Si fu allora per la prima volta che l'attenzione fu generalmente attratta sulle protuberanze e la corona descritta, e sull'importanza di queste manifestazioni si sollevò ben presto una vivace discussione. Le eclissi totali di Sole successive, all'osservazione delle quali attesero sempre più numerosi gli astronomi, vennero poco per volta sviluppando e decidendo le relative questioni, a quel modo che esponemmo nel capitolo sul Sole. Nell'eclisse del 1860, per la quale abbiamo dato secondo Plantamour

una rappresentazione delle protuberanze e della corona nella tavola colorata, a pagina 304, si ottennero per la prima volta immagini negative utilizzabili del Sole eclissato, dopo che nel 1851 erano riuscite le prime daguerreotipie. Per l'eclisse del 18 agosto 1868 vari Governi allestirono delle dispendiose spedizioni. Si fu allora che Janssen adoperò per la prima volta lo spettroscopio e vide le linee lucide delle protuberanze. Di poi si venne ognora più estendendo ed acquistando importanza l'applicazione dello spettroscopio; l'eclisse del 22 dicembre 1870 fu osservata accuratamente dai più distinti spettroscopisti, ed a titolo di curiosità possiamo qui menzionare che Janssen, che non voleva lasciar passare l'eclisse che, in Parigi, circondata dall'esercito germanico, era solo parziale, fuggì felicemente dalla città assediata in un pallone aerostatico per raggiungere la regione della totalità.

Dopo l'eclisse del 29 luglio 1878, al programma per le osservazioni delle eclissi fu aggiunto un nuovo argomento, poichè l'americano Watson, durante la totalità, aveva visto nei pressi del Sole due punti rosseggianti che egli riguardò quali pianeti intramercuriali. Per ragioni teoriche, Leverrier aveva da lungo tempo sospettato l'esistenza di tali piccoli corpi prossimi al Sole, ma ad un tempo prevedendo con sicurezza che essi non sarebbero stati certamente scoperti se non durante eclissi totali di Sole. Più tardi Peters in Clinton (Nord America) riconobbe che l'osservazione di Watson era sbagliata, però non si è tralasciato di trarre profitto dalle occorrenze di eclissi totali di Sole per ricercare, benchè senza successo, questi corpi problematici. L'eclisse del 16 maggio 1882, visibile specialmente in Egitto, aprì per contro una questione intorno ad altri corpi che si trattengono vicino al Sole in modo soltanto così transitorio, che in altre epoche essi si nascondono completamente nei suoi raggi. Si fu allora che venne scoperta sopra una lastra fotografica la cometa *Khedive*, che diede occasione alle considerazioni esposte in altro luogo (v. pag. 219). Subito dopo quell'eclisse totale, il più grande interesse fu destato da quella del 19 agosto 1887, per ciò che la regione, entro la quale essa appariva totale, correva attraverso tutta la Germania settentrionale passando per Berlino. Sfortunatamente il tempo cattivo preparò ancora delusioni a tutti quelli che attendevano con ansia di vedere nelle ore mattutine il raro spettacolo celeste annunziato. Fra le eclissi successive furono ancora osservate con buon successo quelle del 1° gennaio 1889, visibile nell'America settentrionale, e quella del 16 aprile 1893, la cui zona di totalità attraversava l'America meridionale e l'Africa. Per l'osservazione di quest'ultima, l'Osservatorio Lick aveva mandato una missione speciale nelle Ande del Chilì. La nostra elio-incisione a pagina 47 riproduce un fotogramma della corona solare, preso durante quell'ultima eclisse. Quando il 9 agosto 1896 l'ombra della Luna percorse la parte settentrionale della Norvegia, il tempo fu cattivo su tutta la linea, solo in Lapponia riuscirono bene le osservazioni ed i rilievi. Noi riproduciamo nella qui citata elio-incisione, assieme a quello già menzionato, uno di questi pochi fotogrammi che rappresenta lo stato della corona nell'epoca presente; esso fu eseguito da Wutschichowsky con un obbiettivo di 16,3 cm. di apertura e un'esposizione di soli 0,5 secondi.

Nelle figure 240, 241, 242, 243 e 244 si vede come simili eclissi si presentano. In Berlino il 19 agosto 1887, si vide il Sole come una falce sottile, il cui lembo convesso era rivolto verso il basso a sinistra: la falce andò quindi man mano restringendosi finchè avvenne il momento della totalità. Di poi la falce fu visibile dall'altra

parte, cioè rivolta verso l'alto a destra; essa s'allargava visibilmente finchè dopo circa un'ora era trascorsa anche la fase parziale. In Colonia per contro il feno-

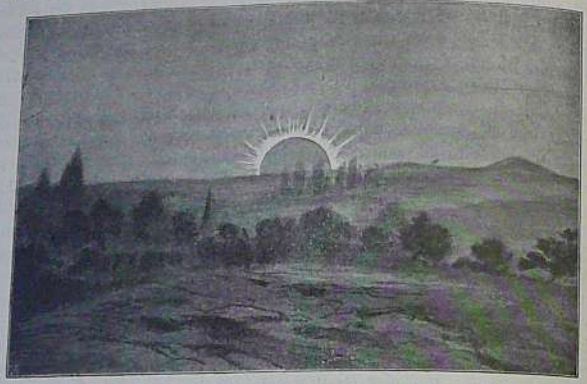


Fig. 240. — Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887, in vicinanza della Kiffhäuser.

meno si mostrò essenzialmente diverso. Colà il Sole si levò come una falce rivolta verso destra in alto ed andò allargandosi sempre più; il fenomeno non mostrò

Fig. 241. — Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887, che sorge a Berlino.

quindi colà che la parte che in Berlino tenne dietro alla totalità. In una regione intermedia della Germania, come ad esempio nella Kyffhäuser presso Nordhausen, il Sole si levò totalmente eclissato, e l'eclisse ebbe quindi il medesimo andamento

ulteriore che in Berlino. L'eclisse procedette diversamente a Nord e a Sud di una certa zona; in Kiel, ad esempio, il Sole non fu eclissato intieramente, ma del suo

Fig. 242. — Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887, che sorge a Colonia.

disco rimase una falce sottile, che quando fu minima, era convessa verso l'alto a sinistra. L'opposto si vide da Vienna, ove la minima fase aveva figura con-

Fig. 243. — Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887, massima fase in Kiel.

vessa rivolta verso il basso a destra. Sulla nostra piccola carta (Fig. 245) è tratteggiata la regione nella quale l'eclisse si presentò totale; le linee che corrono obliquamente dall'alto al basso dànno il cominciare della totalità di 10 in 10 minuti.

Vediamo da esse che quella incomincia sempre più tardi, man mano che si va verso Est. Sopra e sotto la zona della totalità sono tracciate delle linee ad essa parallele che sono segnate rispettivamente 11.5 e 11 pollici; esse dànno la grandezza dell'eclisse in quella regione, secondo la moda antica in pollici; 12 pollici indicano perciò l'intiero diametro apparente del Sole.

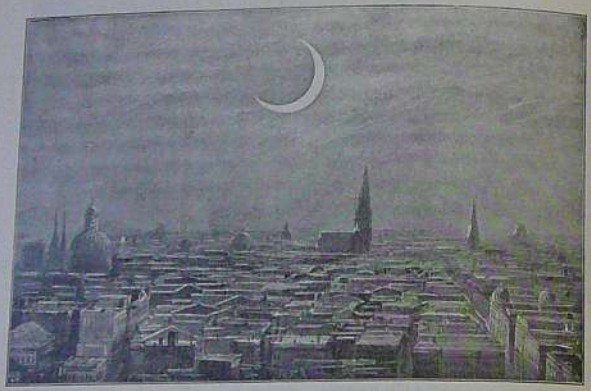


Fig. 244. — Il Sole durante l'eclisse del 19 agosto 1887, massima fase in Vienna

Il verificarsi della fase totale dell'eclisse si fa riconoscere spesso a mezzo soltanto di lacerazioni a tratti, che con grande velocità si raccolgono in un sottile filo di luce. Si formano delle configurazioni di collane di perle od a corona di rose, la cui provenienza si spiega a mezzo delle disuguaglianze del disco della Luna che s'avanza, che non sono che le montagne che su di essa si elevano. L'irradiazione allarga il disco solare, ma la sua azione cessa là ove comincia ad essere coperto dal lembo oscuro della Luna, mentre in altre posizioni prevale ancora l'effetto dell'irradiazione, che vi produce la parvenza delle perle di luce. Pochi secondi dopo incomincia la totalità, e con un colpo di bacchetta magica si cambia tutta la scena. Delle strane ombre volanti appaiono in quell'istante, specialmente per osservatori situati sopra alture, e scorrono sul paesaggio colla velocità di un treno diretto. Sono striscie oscure e chiare ondulate che tremolano costantemente qua e là, e produssero in alcuni osservatori l'impressione che la Terra cominciasse in quell'istante a vacillare. Questi videro anche che gli animali fuggivano agitati davanti a queste ombre serpentine. Queste sono rappresentate dal P. Faura, come appare dalla figura 246. Esse sono date come larghe 4 o 5 pollici.

Questa notevole apparenza, che non è ancora ben spiegata, si verifica specialmente al limite della regione della totalità, ed anche per un certo tratto sopra di essa; si è cercata una spiegazione in fenomeni di diffrazione al lembo della Luna, ma la teoria mostra che in questo caso le striscie dovrebbero essere molto

più larghe. È molto più probabile che il fenomeno sia prodotto da rifrazioni saltellanti provenienti da un tremolio degli strati atmosferici, analogo a quello che produce la scintillazione delle stelle. Solo in questi ultimi istanti della fase parziale si avverte una ragguardevole diminuzione della chiarezza generale del paesaggio terrestre e della vôlta celeste.

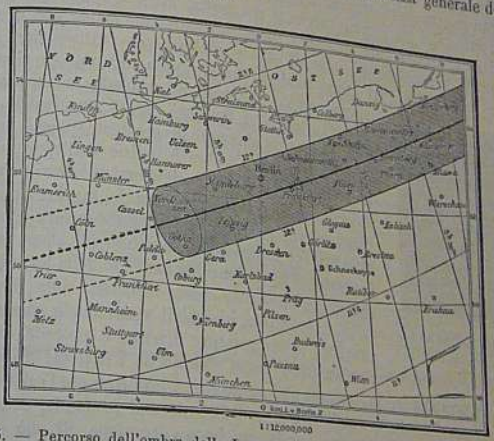


Fig. 245. — Percorso dell'ombra della Luna durante l'eclisse solare del 19 agosto 1887.

Dopo che è scomparso l'ultimo filetto di luce, accade repentinamente una trasformazione della scena, che viene da tutti i testimoni oculari descritta con vivaci espressioni (vedi la tavola a pagina 7): attorno al disco del Sole eclissato, che appare quale un disco nero sul fondo cupo del Cielo, si mostra la corona colle sue strane irradiazioni, la cui natura ci ha già occupati più sopra; il Cielo prende una tinta grigio-giallastra, come se fosse velato da nubi temporalesche, e le stelle più lucide si lasciano vedere. Mercurio specialmente, vicino al Sole, e che solo di rado diviene visibile ad occhio nudo, si mostra nei pressi dell'oscurato astro del giorno con altri maggiori pianeti, i quali del pari si trovino incidentalmente vicino al Sole. Durante eclissi solari si videro brillare anche alcune delle stelle più lucide.

Così si svolgono in quei momenti dei fenomeni ottici che non sembrano essere rari, ma che si nascondono sempre nei raggi del Sole, come aloni, anelli solari colle tinte dell'arcobaleno, ecc. Questi fenomeni sono affatto analoghi a quelli che si osservano più frequentemente attorno alla Luna; essi provengono da rifrazioni che si verificano nei più eccelsi strati dell'atmosfera. Se vi sono nubi in Cielo, esse assumono d'ordinario una tinta rossa sporca, che è molto diversa dalle vive colorazioni crepuscolari; tutt'attorno all'orizzonte si stende una fascia colore d'arancio, che emerge da regioni nelle quali l'eclisse non è in quel momento totale. Questo cambiamento rapido dell'illuminazione non produce una profonda

impressione sugli uomini soltanto, ma la natura intiera sembra risentirsene; gli uccelli fuggono davanti all'ombra che s'avanza, gli animali cercano i nascondigli ove sogliono passare la notte, ed i fiori, i calici dei quali s'aprono unicamente alla luce solare, li richiudono.

Tutte queste manifestazioni attestano come la vita della natura dipenda immediatamente dalle elargizioni raggianti del nostro astro centrale, quand'anche si spieghi chiaramente quell'influenza sugli animali e sulle piante, che in tempi da noi lontani si connettevano alle più strane credenze superstiziose circa le eclissi ed alla quale anche nei tempi moderni fu attribuita una ragione mistica. Si è spesso notato che tutti gli animali, ma specialmente i volatili e gli altri fino agli insetti, fuggivano davanti a quell'ombra rapidamente progrediente, poichè nelle circostanze ordinarie l'ombra è indizio dell'approssimarsi di un supposto pericolo. Il chiudersi dei fiori può avere la sua ragione, non nella mancanza dei raggi solari, ma nella ragguardevole diminuzione di temperatura che si constata sempre subito dopo l'avvenimento della totalità. Si è notato anche un sensibile aumento della forza del vento; esso si può spiegare senza difficoltà colla diminuzione della temperatura, giacchè il vento tende sempre a ragguagliare le temperature diverse, e procede quindi coll'ombra della Luna. Che anche i dati del barometro si alterino, è prevedibile, in cospetto del vento che si leva durante l'eclisse. L'oscurità che regna durante la totalità, non è d'altronde così profonda, come sembra a cagione dell'effetto di contrasto per la sua brusca irruzione. Si può è vero con essa leggere caratteri di stampa non molto minuti, ma senza luce artificiale non si possono più leggere le indicazioni degli indici dell'orologio, od i tratti di divisione sugl'istrumenti. Non appena al lembo occidentale del disco oscuro emerge di nuovo il primo raggio di Sole, svaniscono anche come per incanto tutti gli strani fenomeni descritti. La natura rivive, e tutti i fenomeni della fase decrescente procedono in ordine inverso a quello della fase crescente.

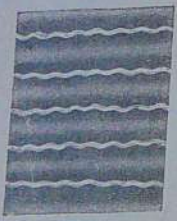


Fig. 246. — Ombre volanti durante eclissi solari, secondo il P. Faura.

Per trovare la spiegazione del verificarsi e del succedersi delle fasi nelle eclissi solari e lunari, dobbiamo cercarla nei movimenti del Sole e della Luna che già ci sono noti.

Se l'orbita della Luna non fosse inclinata rispetto all'eclittica, il Sole e la Luna percorrerebbero il Cielo lungo il medesimo cerchio massimo, ed allora in ogni mese, quando è Luna nuova, quest'astro dovrebbe coprire il Sole, cioè produrre un'eclisse di Sole; e parimenti in ogni mese a Luna piena, il nostro satellite dovrebbe passare così esattamente dietro la Terra che ne sarebbe coperto dall'ombra, supponendo però che quest'ombra si protenda nello spazio quanto sarebbe a ciò necessario. Ma, come si sa, le eclissi di Sole e di Luna che si generano a quel modo, non avvengono certo così di frequente, giacchè, perchè avvengano, deve essere ancora soddisfatta la condizione che la Luna nuova e la Luna piena avvengano rispettivamente in luoghi del Cielo, tali che in essi si trovi pure il punto d'intersezione delle orbite del Sole e della Luna, cioè uno dei nodi dell'orbita lunare. Ma quest'ultimo si muove lungo l'eclittica in 18,6007 anni, così

da percorrere una volta tutto il Cielo, come è chiaramente rappresentato nella figura 247.

Da questo movimento proviene il mese draconitico che, come già sappiamo, conta 27,2 giorni; ma il mese sinodico è lungo 29,5 giorni. Per determinare ora il ritorno periodico delle eclissi, occorre trovare due fattori costituiti da numeri intieri, tali che moltiplicando per uno di essi il mese sinodico, e per l'altro il mese draconitico, si ottengano due prodotti uguali il più che è possibile. Si trova che questa condizione è soddisfatta per 223 mesi sinodici e 242 mesi draconitici; questo intervallo di tempo corrisponde a 6585 1/3 giorni, pari a 18 anni, 11 1/3 giorni. Per eliminare questo terzo di giorno, cioè per poter predire il ritorno ad un dipresso per la stessa epoca del giorno, moltiplichiamo quel numero ancora per 3, ed otteniamo quindi per il periodo cercato 19.756 giorni.

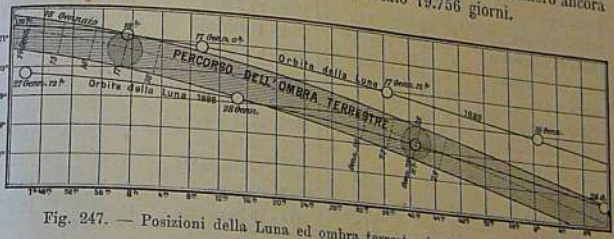


Fig. 247. — Posizioni della Luna ed ombra terrestre in due eclissi di Luna.

Questo periodo era già noto ai popoli più antichi che coltivavano l'Astronomia, quali i Chinesi, i Caldei, gl'Indiani, senza che essi avessero in modo alcuno compreso la natura delle eclissi. Nella nostra Introduzione trovammo parecchie volte occasione di discorrere intorno al modo col quale quelle antiche genti trovarono mezzo di poter predire e calcolare in antecedenza le eclissi, giacchè il Sole e la Luna appartenevano alle loro divinità od agli attributi di esse, che secondo le idee allora vigenti erano durante le eclissi attaccati da demoni o da mostri sopranaturali, i quali potevano venire scacciati soltanto a mezzo di cerimonie speciali, preci, grande fracasso, spari, ecc. Era quindi molto importante di poter pensare per tempo alla preparazione di queste cerimonie. Inoltre la considerazione del sacerdozio veniva accresciuta dall'arte segreta di questi calcoli preventivi. Gli Annali chinesi raccontano che verso la fine del terzo migliaio d'anni prima del principio del nostro còmputo del tempo, due astronomi di corte, Hi ed Ho, furono giustiziati, perchè essi avevano lasciato trascorrere un'eclisse di Sole senza annunziarla. Nel libro sacro degli indiani il *Sûrya-Sid-dhânta*, un trattato d'astronomia dettato dallo stesso dio del Sole, erano date in versi le regole precise, applicando le quali si poteva calcolare preventivamente le eclissi affatto meccanicamente e senza alcun'altra riflessione. Secondo il periodo menzionato e che i Greci chiamavano Saros, di 19.756 giorni, oggi anche ogni persona affatto ignara dei calcoli astronomici può preventivamente calcolare un'eclisse e predirla, quando egli ricavi dagli Annali i giorni corrispondenti a quell'intervallo di tempo, nei quali avvennero le eclissi anteriori. Ciò è fatto nella tabella seguente per alcune

eclissi totali. Si sono inoltre trascritti i fenomeni successivi ottenuti soltanto coll'addizione di quel numero di giorni, e per ultimo l'istante medio dell'eclisse dedotto da un calcolo più esatto, non che la sua grandezza.

Eclissi di Luna.

Calendario gregoriano	Istante medio in tempo dell'E. C.	Grandezza in pollici	Calendario gregoriano	Istante medio in tempo dell'E. C.	Grandezza in pollici
1844 - 31 Maggio	$23^h\ 49^m$	16,0	1898 - 3 Luglio	$22^h\ 17^m$	11,2
1844 - 25 Novembre	0 46	17,3	1898 - 29 Dicembre	0 38	16,5
1845 - 21 Maggio	16 55	13,3	1899 - 23 Giugno	15 17	18,0
1845 - 14 Novembre	1 48	11,2	1899 - 17 Dicembre	2 25	12,2
1848 - 19 Marzo	22 12	19,3	1902 - 22 Aprile	19 51	15,9
1848 - 13 Settembre	7 22	20,6	1902 - 17 Ottobre	7 4	17,6
1852 - 7 Gennaio	7 13	20,2	1906 - 9 Maggio	8 48	19,7
1852 - 1 Luglio	16 26	18,4	1906 - 4 Agosto	13 58	21,5
1855 - 2 Maggio	5 6	18,9	1909 - 4 Giugno	2 30	13,9
1855 - 25 Ottobre	8 31	17,7	1909 - 27 Novembre	9 57	16,5
1856 - 20 Aprile	10 8	8,7	1910 - 24 Maggio	6 36	13,3
1856 - 13 Ottobre	23 54	12,1	1910 - 17 Novembre	1 21	13,7
1859 - 17 Febbraio	11 45	20,5	1913 - 22 Marzo	12 57	19,0
1858 - 13 Agosto	17 32	21,9	1913 - 15 Novembre	13 47	17,3

Come appare dalla tabella, nei quindici anni che corrono dal 1898 al 1913, succede soltanto due volte il caso di eclissi totali (17 dicembre 1899 e 24 maggio 1910) che non dovevano essere seguiti da altri pure intieramente totali. Del resto nessuna eclisse è stata passata sotto silenzio da questo semplice calcolo. I dati di tempo mostrano che le apparizioni corrispondenti avvengono entro poche ore alla medesima epoca del giorno; quindi sono anche, come appare da quanto segue, visibili all'incirca nelle medesime regioni della Terra. Questi metodi puramente meccanici, che d'altronde servono di base a tutti i calcoli necessari dell'Astronomia pratica, sono così perfezionati (Vedi Schram, *Tavole per il calcolo delle precise circostanze delle eclissi solari*), che permettono di calcolare tutti i dati precisi di un'eclisse per ogni luogo della Terra, in pochi minuti, con una semplice addizione, senza altre cognizioni, solo coi dati della tavola relativa. Ma a base del calcolo di quelle tavole sta la più finita teoria dei movimenti degli astri; si sarebbe però potuto sicuramente comporre delle tavole di precisione quasi uguale, quando anche la spiegazione teorica dei movimenti corrispondenti non ci fosse stata nota e non si fosse superata la grave difficoltà effettivamente derivatane di calcoli lunghissimi.

Noi possiamo quindi collocare le nostre considerazioni sulle eclissi qui ove trovano il loro posto naturale, e dove lo svolgimento delle nostre cognizioni sui movimenti e sulle posizioni rispettive dei corpi celesti non è progredito molto più di quanto la visione acuita dagli strumenti insegni, così che noi immaginiamo il Sole e la Luna volanti attorno alla Terra, l'uno quale corpo di per sè luminoso e l'altra come corpo oscuro. A queste cognizioni, l'osservazione della parallasse

aggiunge ancora quella che la Luna dista dal centro della Terra di 60,28 raggi terrestri, e che il suo diametro è 0,273 parti del diametro terrestre; e che inoltre il paragone della parallasse solare di 8″,95 colla parallasse lunare, ci mostra che il rapporto fra le distanze medie dei due corpi celesti è 1 : 387, e finalmente che dalla parallasse solare e dal diametro apparente del Sole risulta che il vero diametro solare è di 108,7 diametri terrestri. Cerchiamo ora di spiegare con questi dati le apparenze tipiche delle eclissi.

Prima di tutto, pur astraendo dalla forma esterna del fenomeno, sussiste una differenza essenziale fra le eclissi solari e lunari, in ciò che la natura dell'andamento di un'eclisse solare è legata alla posizione dell'osservatore sulla superficie terrestre, mentre un'eclisse lunare è veduta da tutta la Terra sotto il medesimo aspetto. Se è vero, ciò che molte circostanze ci lasciarono fin qui congetturare, che gli oscuramenti della Luna sono prodotti dal suo addentrarsi nell'ombra della Terra, allora, coi dati d'osservazione fin qui raccolti, noi possiamo calcolare le precise circostanze di essi, ed in modo molto semplice. Noi presupponiamo che lo studio del moto apparente della Luna, tenendo conto di tutte le disuguaglianze constatate, ci abbia fornito il momento preciso del verificarsi di una Luna piena, ed ammettiamo, per semplicità, che questa Luna piena avvenga contemporaneamente anche nel nodo dell'orbita lunare, così che i centri del Sole, della Terra e della Luna stiano sopra una medesima linea retta. Lo scostamento da queste supposizioni, che d'ordinario avviene, poichè la Luna può venire oscurata alquanto sopra o sotto il suo nodo, complica la questione; ma si può vedere senz'altro che il tener conto di quegli scostamenti non può presentare alcuna difficoltà di principio.

Per calcolare le precise circostanze di un'eclisse lunare, oltre all'istante medio della totalità che coincide coll'istante del verificarsi della Luna piena, ci occorre conoscere altresì la semi-durata dell'oscuramento. Questa dipende in primo luogo dalla grandezza dell'ombra terrestre alla distanza della Luna, e secondariamente dalla velocità colla quale la Luna attraversa l'ombra. Per determinare la larghezza dell'ombra terrestre si serviamo della figura 248; in essa S è il Sole, E la Terra ed M la Luna. Si vede che i raggi solari che s'appuntano a cono dietro la Terra stanno alquanto discosti dalle due parti della Luna; la Luna è completamente immersa nel cono d'ombra. È nostro problema il determinare il diametro della sezione di questo cono d'ombra alla distanza della Luna. Se noi consideriamo sul disegno le linee di costruzione segnate a tratti, i principi della geometria elementare ci fanno vedere che la differenza fra i diametri del Sole e della Terra divisa per la distanza D dei due corpi celesti, è uguale alla differenza fra il diametro del circolo d'ombra terrestre cercato e quello della Terra, divisa per la distanza d della Luna dalla Terra. Se in questa equazione noi introduciamo i numeri dati per le distanze medie dei due corpi celesti, allora troviamo che il diametro del cerchio d'ombra terrestre è uguale a 0,721 del diametro terrestre. Ora, poichè il diametro lunare è uguale a 0,273 del diametro della Terra, così l'ombra della Terra alla distanza della Luna è ancora sempre tre volte più larga della Luna, il che s'accorda colle osservazioni.

Ora noi dobbiamo ancora calcolare il rapporto della velocità del moto della Luna a quella dell'ombra terrestre, od in altre parole del Sole. Si tratta quindi

di movimenti entro periodi sinodici. Noi determiniamo ugualmente bene in qual tempo la Luna percorre il suo proprio diametro. Ciò si ottiene moltiplicando il mese sinodico per il diametro della Luna, espresso in parti di grado, e dividendo il prodotto per 360; col che si ottiene 61,2 minuti. Un intervallo di ugnale durata intercede dunque, in circostanze medie di distanza, durante un'eclisse centrale, tra il suo principio generale ed il principio della totalità, e d'altra parte fra il fine della totalità ed il fine dell'eclisse generale. La durata della totalità poi si ottiene moltiplicando questi 61,2 minuti per la differenza fra il diametro dell'ombra terrestre e quello della Luna, espresso in parti dell'ultimo, cioè da

$$(0{,}721 - 0{,}273) : 0{,}273.$$

Con ciò noi troviamo 100,5 minuti, e la semi-durata della totalità ascende dunque in cifre rotonde a 50 minuti.

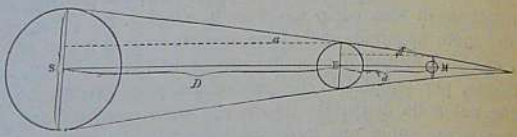


Fig. 248. — Determinazione del diametro dell'ombra terrestre alla distanza della Luna

Ciò è tutto quanto occorre per poter indicare i quattro momenti importanti di un'eclisse lunare. Così, ad esempio, se la Luna piena cade a mezzanotte precisa, allora il principio dell'eclisse parziale avviene a 12 ore — 50 minuti — 61 minuti, cioè a 10 ore 9 minuti; il principio della totalità a 61 minuti più tardi, cioè ad 11 ore 10 minuti. La fine della totalità ha luogo a 12 ore 50 minuti, e la fine dell'eclisse parziale ad 1 ora 51 minuto. Questi numeri valgono, come fu detto, per distanze medie; ma poichè tanto il Sole quanto la Luna hanno rispettivamente il loro apogeo e perigeo, così questi dati di tempo possono nelle eclissi centrali oscillare di uno o due minuti attorno ai valori medi dati. Però nella massima parte dei casi la Luna non passa per il centro dell'ombra terrestre, ma l'attraversa alquanto sopra o sotto quel punto. Naturalmente, neppure in questo caso è difficile di trovare le ragioni geometriche, a mezzo delle quali si determina il percorso della Luna attraverso l'ombra terrestre. Inoltre può succedere il caso che la Luna passi tanto sopra o sotto l'ombra terrestre, che il suo globo s'immerga in essa soltanto parzialmente; allora anche l'eclisse è per tutta la sua durata parziale. Occorre però avvertire che il notevole spostamento parallattico della posizione della Luna non può avere alcuna influenza sul prodursi di eclissi lunari, giacchè questo spostamento, che è soltanto la conseguenza di un divario prospettico di direzione della visuale per osservatori situati in punti diversi della Terra, deve essere generalmente uguale per la Luna e per l'ombra della Terra. Così risulta che gli istanti delle eclissi lunari sono i medesimi per tutta la Terra, e quindi nelle indicazioni dei nostri orologi non si differenziano fra loro che per la differenza delle ore dei tempi dei fusi, e che però il punto del Cielo, nel quale accade questa eclisse, è diverso per ogni punto della Terra dell'ammontare della

differenza parallattica. Anche la grandezza delle eclissi lunari vien data in pollici, in guisa però, che nelle eclissi totali la grandezza di tutta la corda percorsa dalla Luna nell'ombra terrestre è data in dodicesimi del diametro lunare. Poichè l'ombra della Terra è larga qualche cosa meno del triplo del diametro lunare, la durata

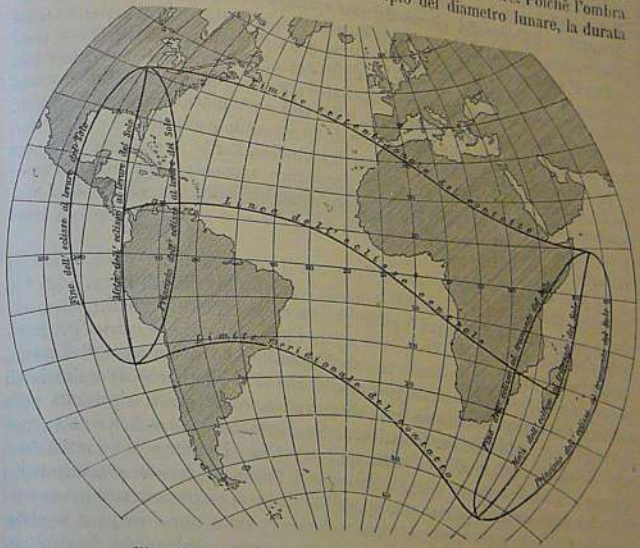


Fig. 249. — Limiti dell'eclisse solare del 29 agosto 1886.

dell'oscuramento totale deve calcolarsi soltanto entro i contatti interni del disco della Luna coll'ombra terrestre, così 22,8 pollici (a) segnano il massimo per un'eclisse centrale.

La cosa procede affatto diversamente nelle eclissi solari. In queste il corpo stesso della Luna copre il Sole per il nostro luogo d'osservazione. Ora poichè lo spostamento prospettico, che noi chiamiamo parallasse, deve essere diverso per corpi differentemente lontani, e la Luna è a noi più vicina che il Sole di 387 volte,

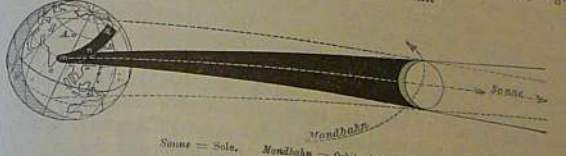
(a) Abbiamo tradotto pollice la parola *Zoll*, ma avvertiamo che in molti libri antichi di Astronomia si diceva *digiti*, ora questa dicitura è stata abbandonata. Oggidì la grandezza di un'eclisse è data in parti del diametro della Luna o del Sole, secondo che si tratta di eclissi lunari o solari, ovvero, il che torna lo stesso, prendendo per unità il diametro apparente dell'astro. Così per l'eclisse parziale di Sole dell'8 giugno 1899 si ha dai calcoli del Dr Rajna che a Torino la grandezza fu di 0,037, a Milano 0,031, a Venezia 0,004, il diametro apparente del Sole essendo *uno*. Per l'eclisse totale di giugno 23 dell'anno medesimo, invisibile in Italia, l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, dà per grandezza dell'eclisse 1,487, il diametro apparente della Luna essendo *uno*. (O. Z. B.)].

così la parallasse cambia l'aspetto di un'eclisse solare per ogni punto della superficie terrestre. Così ad esempio, il 29 agosto 1886 alle 3 ore 15 minuti del pomeriggio, tempo medio di Berlino, fu visto in certe parti dell'Africa meridionale il Sole totalmente oscurato, mentre nell'istante medesimo in tutta l'Europa, nulla fu sottratto all'astro del giorno del suo splendore. Noi comprendiamo ciò senz'altro, non appena abbiamo inteso il modo di agire della parallasse. Per il nostro esempio la linea di eclisse centrale attraversava il meridiano di Berlino a circa 13° gradi di latitudine australe; la differenza di latitudine di due osservatori dei quali l'uno si fosse trovato in Berlino, l'altro nella zona dell'eclisse centrale, ma entrambi sul meridiano di Berlino, saliva così a 65° o 66°. Ora, come sappiamo, per una differenza di latitudine di 90°, lo spostamento parallattico è di 51′: esso è proporzionale al seno della differenza di latitudine. Per la menzionata differenza di latitudine pertanto, lo spostamento parallattico ammonta a 52 minuti d'arco; ma basterebbe uno spostamento di soli 30 minuti, circa il diametro della Luna, per allontanare intieramente questa dal Sole, ove essa prima lo coprisse intieramente.

Il problema, di calcolare preventivamente il percorso di un'eclisse solare, si complica quindi di molto rispetto a quello relativo alle eclissi di Luna. Negli Annuari astronomici ci si deve per lo più limitare a rappresentare le eclissi, quali sarebbero viste dal centro della Terra, cioè a dare i loro elementi geocentrici. Per punti determinati della Terra, soltanto un calcolo speciale fatto in base a quegli elementi, può fornire la conoscenza delle particolarità che vi si riferiscono. D'ordinario gli annuari contengono anche una carta dimostrativa, come quella riprodotta nella figura 249 per l'ultima eclisse menzionata. Su questa carta noi vediamo subito una zona circoscritta quasi ellittica, nella quale l'eclisse si produce al levar del Sole; opposta ad essa ne sta un'altra, nella quale il fenomeno avviene al tramonto del Sole; fra esse sta la regione, nella quale l'eclisse può essere veduta durante tutto il suo svolgimento; però essa è totale solamente sulla linea mediana segnata; dalle due parti di questa la Luna copre soltanto una porzione del disco solare, produce quindi solamente un'eclisse parziale. Sulle linee limiti a Nord e a Sud la Luna rasenta il disco solare, senza coprirne porzione alcuna. Mentre quindi un'eclisse totale di Luna è veduta come tale sulla Terra ovunque la Luna si trovi nell'istante corrispondente sopra l'orizzonte, un'eclisse totale di Sole è vista sotto questa forma sempre soltanto da una stretta zona terrestre.

La larghezza della zona di totalità è molto variabile. Noi già sappiamo, che avvengono delle eclissi centrali di Sole, nelle quali, per un dato punto terrestre d'osservazione i centri del Sole e della Luna si sovrappongono, senza che perciò l'eclisse sia totale. Queste sono le eclissi anulari. In essi il cono d'ombra che la Luna trascina dietro a sè, non giunge più col suo vertice sino alla Terra. Ma nell'altro caso la larghezza della zona di totalità corrisponde al relativo diametro della sezione del cono d'ombra. Però anche nel caso attuale noi possiamo determinarlo a mezzo della medesima equazione, come facemmo trattando delle eclissi lunari. Ora non dobbiamo più adoperare nei calcoli i valori medi delle distanze dei corpi celesti, ma bensì quelli sussistenti realmente nell'istante dell'eclisse. La parallasse lunare può variare fra i valori $61{,}_4$ e $53{,}_9$ minuti d'arco, il raggio lunare fra 16′ 46″ e 14′ 43″, e quello del Sole fra 16′ 16″ e 15′ 44″.

Consideriamo un caso estremo favorevole, cioè un'eclisse solare che avvenga all'epoca di una massima distanza dal Sole, e di una minima distanza dalla Luna; allora noi otteniamo per il diametro della sezione del cono d'ombra lunare alla distanza del centro della Terra, 200 km. in cifre rotonde. Per la superficie della Terra quel diametro s'allunga, perchè ci troviamo più vicini al luogo dove sta la Luna; essa può qui raggiungere anche 250 km. La forma sferica della Terra fa sì che la proiezione d'ombra s'allarghi ancora, e tanto più quanto più obliquamente cadono sulla Terra i raggi solari, cioè quanto più presso ai poli sta la zona di totalità. Nelle latitudini di Berlino essa può in larghezza raggiungere un'estensione di quasi 400 km., però solo in casi estremi.



Sonne = Sole. *Mondbahn* = Orbita della Luna.

Fig. 250. — Percorso dell'ombra lunare sulla superficie terrestre.

La durata della totalità dipende da questo diametro della sezione d'ombra. Essa può ammontare fino ad 8 minuti. Il percorso dell'ombra della Luna è riprodotto schematicamente nella figura 250. Nelle eclissi solari quindi la totalità dura molto meno che in quelle lunari; per contro la durata della *parzialità* non è essenzialmente diversa; giacchè anche nelle eclissi solari centrali dall'istante del primo contatto esterno dei dischi del Sole e della Luna, fino al verificarsi dell'eclisse totale, od anulare rispettivamente, il movimento relativo della Luna rispetto al Sole deve, come nelle eclissi lunari, raggiungere un diametro lunare. La massima durata dell'intervallo tra il principio della parzialità fino al prodursi della totalità è quindi anche qui da 60 a 61 minuto. Sul nostro disegno è segnata con linee a tratti la regione nella quale l'eclisse deve essere parziale. La si ottiene tracciando una linea dal lembo inferiore del Sole al lembo superiore della Luna e viceversa. Questa zona rappresenta quindi anche la regione della penombra. Anche nelle eclissi lunari ciò avviene, benchè nella pratica lo si avverta molto meno.

In causa dell'influenza della nostra posizione sulla superficie della Terra sopra l'apparenza delle eclissi solari, queste sono, per un determinato luogo d'osservazione, molto più rare di quelle lunari, sebbene per la Terra in generale quelle siano molto più numerose di queste ultime. Ciò si comprende anche facilmente perchè un'eclisse di Sole avviene ogni qualvolta l'ombra della Luna tocca in un punto qualunque la superficie della Terra, mentre in un'eclisse di Luna il nostro satellite deve entrare in una regione che ha una sezione di un diametro che è solo 0,72 centesime parti del diametro terrestre, cioè il diametro dell'ombra terrestre alla distanza della Luna. Pertanto la frequenza delle eclissi di Sole, rispetto a quelle della Luna, deve avere in media la proporzione della superficie di due circoli rispettivamente di diametro 1 e 0,72. Molto di rado la curva della centralità

di un'eclisse solare passerà per un determinato luogo della Terra. Lungo il semplice periodo del Saros di 18 anni, si producono 41 eclissi solari, e soltanto per contro 29 eclissi lunari. Ma l'ombra della Luna si proietta soltanto una volta ogni 200 anni sopra la stessa regione della superficie terrestre. Uno sguardo alla figura 251 può illustrare quei rapporti.

Sopra quella figura sono disegnate le zone di centralità delle eclissi dal 15 marzo 1877 al 22 gennaio 1898. Vediamo che in quel lasso di tempo la regione della media Europa ricevette una volta sola l'ombra della Terra, il 19 agosto 1887. Solo nove anni più tardi, il 9 agosto 1896, l'ombra della Luna toccò di nuovo la lontana regione della Norvegia settentrionale. La prossima eclisse anulare visibile in Germania avverrà il 17 aprile 1912, e quella totale il 7 ottobre 2135. L'11 agosto 1999 la zona di totalità passerà vicino ai confini dell'Austria e della Svizzera colla Germania meridionale. Prima del 1887 l'ultima eclisse totale fu vista in Germania l'8 luglio 1842, quando si faccia astrazione da quella del 28 luglio 1851, nella quale l'ombra della Luna rasentò l'estremo orientale della Germania. Ivi ne fu visibile un'altra il 19 novembre 1816; allora l'ombra della Luna passò assai vicino a Berlino. Se noi consideriamo l'estesa regione dell'America settentrionale sulla nostra carta, vedremo che nei 20 anni, per i quali essa contiene le curve di centralità, soltanto in tre volte si ebbe colà occasione di osservare un'eclisse centrale, e precisamente il 29 luglio 1878, 11 gennaio 1880 e 1° gennaio 1889 (*a*).

Il " Kanon der Finsternisse „ (Canone delle eclissi) di Oppolzer, dal quale abbiamo tolta questa carta, dà esatta notizia numerica di 8000 eclissi solari e 5200 eclissi lunari che avvennero od avverranno fra il 1207 a. C., ed il 2163 d. C.

Da questo lavoro fu particolarmente facilitato anche il calcolo di eclissi più antiche, l'esame delle quali è divenuto di grande importanza vuoi per le indagini storiche, vuoi per le più delicate questioni dell'astronomia teorica. Si erano già prima fatti perciò dei tentativi per compiere quell'immane lavoro. Così verso la fine del secolo precedente Pingré, astronomo calcolatore, aveva computato tutte le eclissi che si presentarono o si presenteranno nei paesi civili tra il 1000 A. C. ed il 2000 d. C. Di recente Ginzel ha completato a mezzo di un grande lavoro *(Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse für das Ländergebiet der klassischen Altertumswissenschaften = Canone speciale delle eclissi solari e*

(*a*) [Questa carta del testo ci fa vedere che in Italia nessuna eclisse centrale di Sole fu visibile tra il 15 marzo 1877 ed il 22 gennaio 1898. L'ultima eclisse totale di Sole visibile in Italia, fu quella del 22 dicembre 1870; ma la linea dei luoghi dai quali la si vedeva totale passava per la Sicilia e la Calabria; e da queste regioni molti astronomi italiani l'osservarono. Fra essi solo superstite è il commendatore Tacchini, attuale direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano e dell'Ufficio centrale di meteorologia e geodinamica in Roma. A questo valentissimo osservatore del Sole si deve un bellissimo disegno della corona solare, quale apparve in quell'occasione, assieme ad altro ricco materiale, riferentisi principalmente alle proeminenze solari, dal quale è arricchito lo splendido volume di relazioni dell'eclisse pubblicato nel 1872 dalla Commissione che era stata incaricata dal Governo dell'osservazione di essa. Si noti che il tempo era tutt'altro che propizio. (Vedi il lavoro di Ottavio Zanotti Bianco intitolato *Eclisse del Sole*, in *Rivista d'Italia*, fascicolo 1°, 1898). Molti e molti anni passeranno ancora prima che dall'Italia sia visibile un'eclisse totale di Sole; la prima che lo sarà accadrà nel 1961.

(O. Z. B.)].

lunari per i paesi dell'antichità classica) per l'epoca classica, la parte del Canone di Oppolzer che riguarda le eclissi storiche dei tempi antichi, tra il 900 a. C. ed il 600 d. C. Questo lavoro completa il Canone di Oppolzer così che per ogni sin-

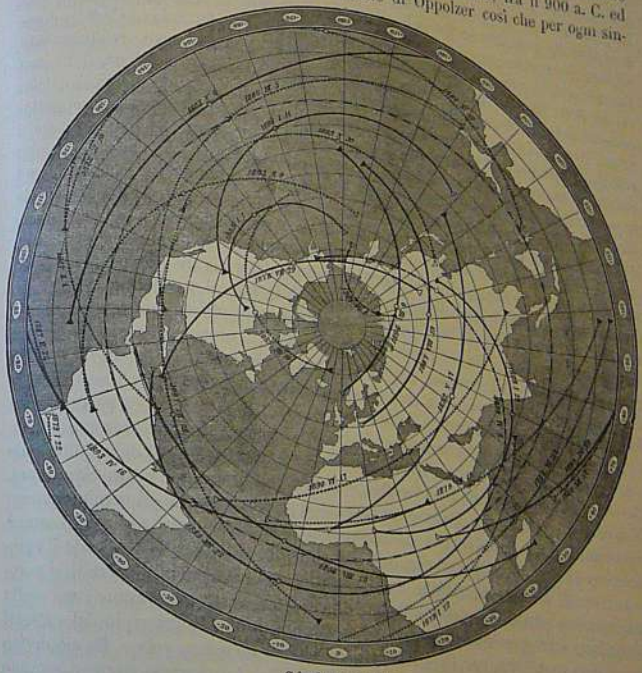


Fig. 251. — Posizione delle curve di centralità delle eclissi fra il 15 marzo 1877 ed il 22 gennaio 1898. Dal " Kanon der Finsternisse , di Oppolzer.

gola eclisse, avvenuta nell'indicato intervallo di tempo in una zona compresa fra 350° e 50° di longitudine orientale da Greenwich e 30° e 50° di latitudine settentrionale, è data una accurata prova della loro visibilità, tenendo conto della correzione di Ginzel pell'accelerazione secolare, della quale dobbiamo ancora parlare; inoltre il lavoro contiene una nuova discussione critica di tutte le eclissi storiche dell'indicato lasso di tempo.

Poichè il prodursi di un oscuramento totale del Sole, deve aver in ogni tempo prodotta la più profonda impressione sui sentimenti degli uomini, così noi tro-

viamo registrati tali avvenimenti negli annali di tutti i popoli. Se in questi elenchi sono indicati i luoghi nei quali le eclissi apparvero totali, assieme all'epoca loro, in guisa che se ne possa dedurre, con certezza sufficiente, l'intervallo di tempo trascorso da quel giorno fino al presente, allora noi acquistiamo con ciò una nozione pregevole circa la vera posizione della Luna e del Sole in Cielo, a quell'epoca remota. Da quanto precede risulta che data la larghezza relativamente esigua della zona di totalità sulla superficie terrestre e la sua posizione, se ne può dedurre delle esatte cognizioni sui rapporti cosmici di posizione del Sole e della Luna. Nella massima parte dei casi si tratta di risolvere la questione opposta, cioè di identificare colle eclissi descritte dalle istorie quelle calcolate col movimento noto dei due corpi celesti, affine di poter ridurre al nostro computo del tempo l'epoca che ci è data secondo computi del tempo a noi affatto sconosciuti od insufficientemente noti. Quindi se si riesce a dedurre da parecchi fenomeni la stessa riduzione da un'epoca istorica all'altra, si può essere sicuri che gli errori ancora sussistenti nelle tavole impiegate non hanno avuto alcuna influenza sulla ricerca, e si può col sussidio del risultato trovato determinare esattamente il lasso di tempo trascorso; quindi è per ultimo possibile fare il rovescio e calcolare le correzioni delle tavole dalle eclissi. I seguenti esempi chiariranno meglio ciò.

Un libro classico dei Chinesi, il " Schu-king „, contiene il passo seguente: " Nel quinto anno del regno dell'imperatore Tschung-khang i dotti Hi ed Ho dimenticarono la loro saviezza. Si diedero smoderatamente al vino, disordinarono l'amministrazione, demeritarono del loro grado. Essi per la prima volta perturbarono il calcolo dell'anno del cielo, non curando la loro mansione. Nell'ultimo mese dell'autunno, la Luna piena non concordava completamente tra le 7 e le 9 del mattino colla *Camera* (una costellazione chinese che corrisponde all'incirca al nostro Scorpione). Il cieco battè il tamburo, l'uomo economo scappò in vettura, e gli uomini comuni fuggirono. I dotti Hi ed Ho si trovavano nel loro ufficio, essi nulla udivano nè sapevano „. Da questo passo che contiene dati del tutto precisi, secondo il computo chinese del tempo, risulta che Hi ed Ho, quali astronomi imperiali si curavano poco o punto del loro ufficio, e, da quanto appare, avevano una volta annunziato erroneamente il cadere del novilunio, cioè del principio del mese, il che si rese manifesto per l'apparizione inattesa di un'eclisse solare. Da ciò derivò la massima confusione in tutta la vita della gente. Le ricerche storiche avevano lasciato credere, a dire il vero con qualche incertezza, che l'imperatore Tschung-khang avesse assunto il governo nell'anno 2158 a. C. Si doveva quindi cercare un'eclisse intorno a quell'epoca che fosse stata visibile in Ngan-Yi, allora capitale dell'impero di mezzo, nelle ore del mattino di un giorno d'autunno, mentre il Sole si trovava nella costellazione dello Scorpione, oppure nelle sue vicinanze. Oppolzer istituì indagini speciali intorno a questa eclisse solare, che è la prima di cui si trovi menzione negli annali di tutti i popoli. Egli ne trovò una sola fra gli anni 2193 e 1914 a. C. che potesse corrispondere alla tradizione; essa accadde il giorno 22 ottobre 2137 a. C. Essa però non fu totale nella regione menzionata, ma ne rimasero oscurati tre quarti del Sole, il che potè essere più che sufficiente notevole, perchè i Chinesi così attenti ed accurati in queste cose s'avvedessero dell'errore nel computo dell'anno. Ora, poichè secondo il passo citato l'eclisse avvenne nel quinto anno del regno di Tchung-khang, così, stando ai calcoli

astronomici, questo imperatore dovette assumere le redini del governo nell'anno 2141 a. C., cioè 17 anni più tardi di quanto risulta dalle malsicure indagini storiche. Noi dobbiamo quindi correggere l'èra chinese di 17 anni. Però giova qui dichiarare esplicitamente che le ricerche di Oppolzer furono qui addotte soltanto come esempio del metodo, a mezzo del quale si può giungere alla correzione di computi storici del tempo. Recentemente Kuhnert in Vienna ha istituito un minuto esame degli annali chinesi, in base alle quali ha sollevato dei dubbi intorno al vero significato di quel passo, dai quali vennero scosse assai le conclusioni sull'epoca di quell'eclisse avvenuta quattro mila anni or sono.

Risultò invece molto più sicura una consimile indagine intorno ad una eclisse solare della quale Plutarco narra come segue: " Che di tutti i fenomeni solari, nulla è così simile al tramonto del Sole quanto un'eclisse solare, la quale, sebbene incominciata dopo mezzogiorno, rese visibili molte stelle in molti punti del Cielo, ed impartì all'aria una tinta eguale a quella del crepuscolo ". Si sa che Plutarco condusse la massima parte di sua vita in Cheronea, sua città nativa. Ma di tutte le eclissi avvenute durante la vita dell'istorico greco, solo quella del 20 marzo 71 d. C. soddisfa alle date condizioni. Questa eclisse è uno dei pochi degli antichi, che a cagione della esatta determinazione del luogo nel quale fu osservata, si presti eccellentemente ad un'applicazione alla teoria della Luna. Ma secondo il calcolo la zona di centralità passa pur sempre alquanto ad Ovest di Cheronea, come appare dalla carta riprodotta nella figura 252, in basso a destra.

Questo divario fra la tradizione ed il calcolo ed altri simili per eclissi del medio evo, furono utilizzati da Ginzel per studiare una notevolissima proprietà del movimento della Luna che era già stata congetturata da Halley, e la cui esistenza frattanto si confermò pienamente, sebbene non sia stata ancora trovata per essa una spiegazione soddisfacente. Questa è quella che viene detta accelerazione della Luna, della quale possiamo sin d'ora discorrere qui, ancora prima di aver spiegato la natura delle rimanenti parti del moto della Luna. Noi vedremo più tardi che fra tutti i fenomeni di moto dei corpi celesti, la così detta durata media di rivoluzione è il meno variabile. Noi riscontreremo anche teoricamente che questa invariabilità è una conseguenza necessaria delle leggi di natura. La Luna soltanto non soddisfa completamente a questa esigenza; la sua durata media di rivoluzione si va accelerando, ma però così di poco che alla fine di ogni secolo essa si trova in una posizione nella quale essa dovrebbe trovarsi soltanto 20 secondi più tardi. Questa differenza è però di per sè troppo piccola perchè possa venir scoperta a mezzo della variazione delle epoche in cui si verificarono le eclissi solari anche nei più remoti tempi dell'antichità, poichè la differenza in un migliaio d'anni ammonta a soli 3 minuti ed $^1/_2$, e soltanto nel secolo decimottavo si ottennero dati di tempo di una tale precisione. Ma il prodursi anticipatamente delle eclissi solari, spostà senz'altro notevolmente il percorso dell'ombra terrestre sulla Terra. Se cioè la Luna attraversa l'eclittica prima di quanto avverrebbe senza l'accelerazione del suo movimento medio, il Sole è proceduto meno innanzi lungo la sua orbita, e l'ombra della Luna si proietta sopra un punto posto più ad Ovest, poichè il movimento annuo del Sole procede da Ovest verso Est. Se l'eclisse avviene fra il solstizio d'inverno e quello d'estate, mentre cioè il Sole va costantemente innalzandosi sempre più verso Nord, esso sarà eclissato

a cagione dell'accelerazione della Luna in un punto più meridionale della sua orbita, l'ombra cade quindi sulla superficie della Terra alquanto più a Sud. Nelle altre stagioni dell'anno per contro l'ombra rimane più a Nord di quanto dovrebbe. Si presentano inoltre parecchi altri effetti ancora che permettono di determinare la piccolissima accelerazione della Luna dalla posizione della zona di centralità. La

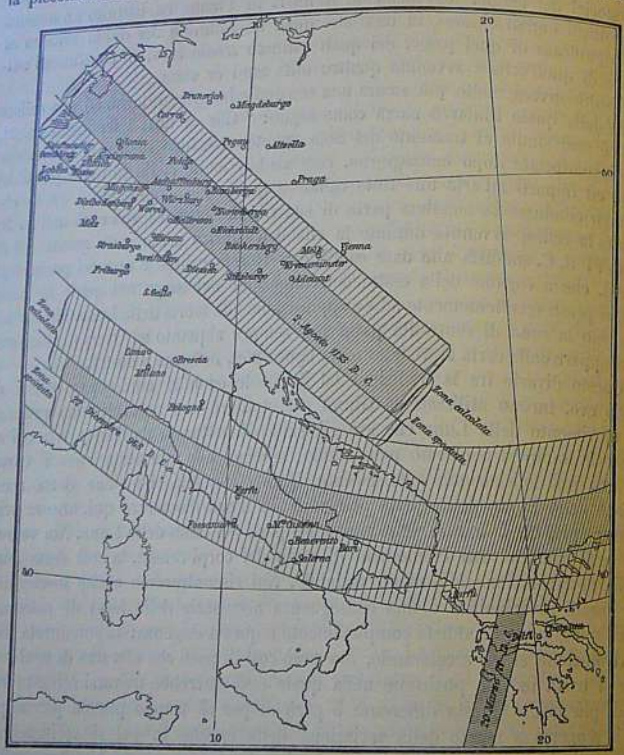


Fig. 252. — Zona centrale corretta di antiche eclissi solari.

carta dell'unita figura può dare un'idea di un tale lavoro di correzione. Gli annali davano notizia sulle eclissi considerate nei luoghi designati, secondo queste notizie le zone calcolate delle due eclissi giacevano troppo a Nord. Per soddisfare da un lato alle notizie storiche e dall'altro per mantenersi d'accordo col complesso delle altre eclissi studiate, quelle zone dovettero venir spostate nel modo indicato. Come risultato delle ricerche di una serie di zone di centralità così spostate, s'ebbero alcune correzioni empiriche delle tavole relative.

Il valore dell'accelerazione della Luna che nella sua essenza è sempre misteriosa e che si connette in guisa notevolissima alle più interessanti questioni dell'economia del nostro universo, venne con ciò stabilito sempre più precisamente. Però qui non possiamo che toccare di volo di questi problemi. Innanzi tutto è da osservare che la differenza scoperta di 20 secondi può essere un errore tanto dell'unità di tempo impiegata come della Luna. Questa unità di tempo ci è fornita dalla rotazione della Terra attorno al proprio asse. Non potrebbe quest'orologio celeste, nel quale noi riponiamo una fiducia così completa, perdere in un secolo questi 20 secondi? La sua precisione sarebbe pur sempre meravigliosa rispetto ai nostri istrumenti umani misuratori del tempo. Ogni rotazione successiva della Terra sarebbe più lunga della precedente soltanto di una 51 billionesima parte.

Se questa spiegazione fosse giusta, anche i movimenti dei rimanenti corpi celesti dovrebbero mostrare, rispetto alla teoria, un errore corrispondente. Ma poichè il tratto che i rimanenti corpi celesti percorrono in 20 secondi è così breve, non lo si potè ancora constatare dal principio della nostra astronomia pratica di precisione, di guisa che la spiegazione potrebbe pur sempre sussistere. Soltanto i satelliti di Marte, di recente scoperti e tanto vicini al loro corpo principale, ed il quinto satellite di Giove, si muovono così rapidamente da permettere colla continuata osservazione di trovare in un non troppo lontano avvenire una conferma od una negazione dell'allungamento costante della durata del nostro giorno. Vedremo più tardi quali fondamenti a questa opinione si possono dedurre dalla istoria generale dell'evoluzione degli astri. Ma fin d'ora possiamo già intendere una causa che può spiegare una parte, non certo tutta la differenza esistente. Noi la troviamo nella pioggia perenne di polvere meteorica che cade dallo spazio cosmico sulla nostra Terra; non appena essa perde nell'atmosfera il suo moto per partecipare d'allora in poi a quello della Terra, ruba a questa una parte della forza viva, colla quale la Terra stessa fa girare il suo globo sopra sè stesso. Quindi una massa ognor crescente deve prendere parte al movimento di rotazione. Questa polvere cosmica, ad ogni modo, nell'economia celeste, esercita colle sue maggiori e massime particelle un'influenza molto più ragguardevole di quanto oggi ancora si supponga. Dovremo più tardi occuparci ancora di ciò.

7. — Eclissi dei satelliti dei pianeti. Occultazioni e passaggi. La parallasse solare.

Per i pianeti circondati dai satelliti, e specialmente per Giove, si osservano anche delle eclissi come quelle che abbiamo minutamente studiato per il Sole e per la Luna; delle eclissi dei satelliti di Giove tenemmo già varie volte parola. Le fasi dei pianeti ci hanno già insegnato che questi sono corpi oscuri come la Terra. Essi debbono quindi anche gettare dietro a sè dei coni d'ombra, le cui dimensioni noi possiamo calcolare tanto facilmente quanto quelle del cono d'ombra della Terra, nell'ipotesi che a noi siano note la vera grandezza e distanza dal

Sole del pianeta che si considera. Quando noi avremo quindi studiato il movimento dei suoi satelliti, noi potremo calcolare preventivamente le eclissi che avvengono in quei sistemi lontani, non altrimenti di quanto ci è dato di fare per il Sole, la Terra e la Luna. Ed infatti da molto tempo noi impieghiamo nella nautica quei calcoli preventivi per i satelliti di Giove. Noi comprendiamo ora meglio come questi satelliti siano segnali adattatissimi per la determinazione delle longitudini, giacchè essi, prodotti in modo analogo alle eclissi della nostra Luna, debbono del pari avvenire nel medesimo istante fisico per ogni luogo d'osservazione.

Però per i satelliti di Giove si verifica qui una certa restrizione, che ha condotto ad un risultato molto interessante. Già fin dall'anno 1675 il danese Olaf Römer aveva osservato che il succedersi di quelle eclissi è soggetto ad un periodo annuo, giacchè quei quattro satelliti venivano tutti eclissati 16,5 minuti più tardi (Römer aveva in principio trovato per ciò il numero troppo alto di 22 minuti) di quanto dava il calcolo, quando Giove si trovava in congiunzione col Sole, rispetto alle epoche corrispondenti per la sua opposizione. Ora noi sappiamo che la variazione apparente del diametro del pianeta non può essere che una conseguenza della variazione della distanza da noi. Ma avremo ben presto occasione di misurare queste varie distanze anche in modo diverso e più esattamente da quello che ci permise di dedurle come conseguenza del diametro variabile, ed allora troveremo che rispetto al Sole la differenza tra congiunzione ed opposizione ammonta a circa 300 milioni di km. Römer suppose subito che il ritardo nel prodursi delle eclissi nella massima distanza del pianeta, poteva provenire soltanto da ciò che la luce impiega un certo tempo a percorrere questa differenza di distanza. Seguirebbe quindi dall'osservazione delle eclissi dei satelliti di Giove che la luce in un minuto secondo percorre un numero di chilom. dato da $300.000.000 : 16{,}5 \times 60 = 300.000$, risultato che fu pienamente confermato dalle ricerche fisiche. Quindi noi dobbiamo tener conto di questa velocità della luce non soltanto per quelle eclissi, ma anche per tutti gli altri fenomeni astronomici, almeno in tutti quei casi e movimenti di corpi, dei quali conosciamo la distanza dalla Terra. Anche nelle coppie di stelle, la cui distanza ci è generalmente ignota, ma la cui variazione di distanza lungo il percorso della loro orbita ci è divenuta nota a mezzo dello spettroscopio o per altra via, occorre tener conto di quella velocità della luce. Nel sistema planetario ciò si fa d'ordinario deducendo il tempo che la luce richiede a percorrere la distanza dal corpo celeste a noi, dal tempo osservato del fenomeno relativo o dalla posizione del corpo celeste. Si riducono così tutte le osservazioni al momento della partenza del raggio di luce dal corpo celeste.

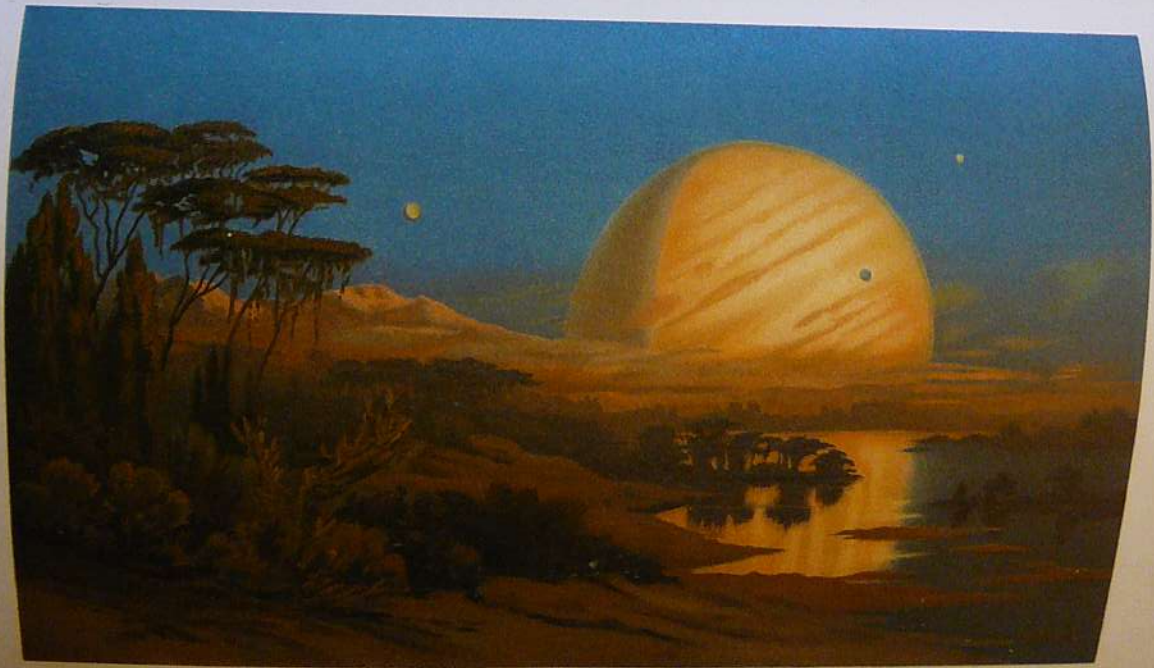
Anche nel sistema di Giove avvengono delle eclissi solari, e stante la distanza noi possiamo tener dietro al corso del fenomeno con evidenza molto maggiore che non sia a noi concesso da un'eclisse solare. Noi vediamo l'ombra del satellite di Giove scorrere sulla superficie del pianeta e delineare per tal guisa la zona di totalità (V. la unita tavola colorata). Poichè noi vediamo del pari il satellite che produce l'eclisse, noi possiamo senz'altro conoscere la posizione del cono d'ombra nello spazio. Secondo che il pianeta si trova prima o dopo la sua opposizione, l'ombra proiettata si trova ad oriente o ad occidente del corpo che è causa dell'oscuramento. Ora, anche per il nostro luogo di stazione si è il satellite che passa avanti al disco di Giove, prima che la sua ombra colpisca la superficie del

ASPETTO DEL PIANETA SATURNO DA UN LUOGO IDEALE D'OSSERVAZIONE SOPRA UNO DEI SUOI SATELLITI

sole del pianeta che si considera. Quando noi avremo quindi studiato il movimento del suo sistema, noi potremo calcolare preventivamente le eclissi che avvengono in quei sistemi lontani, non altrimenti di quanto ci è dato di fare per il Sole, la Terra e la Luna. Ed infatti da molto tempo noi impieghiamo nella nautica questi calcoli preventivi per i satelliti di Giove. Noi comprendiamo ora meglio come questi satelliti siano segnali adattatissimi per la determinazione delle longitudini, giacchè essi, prodotti in modo analogo alle eclissi della nostra Luna, debbono del pari avvenire nel medesimo istante fisico per ogni luogo d'osservazione.

Però per i satelliti di Giove si verifica qui una certa restrizione, che ha condotto ad un risultato molto interessante. Già fin dall'anno 1675 il danese Olaf Römer aveva osservato che il succedersi di quelle eclissi è soggetto ad un periodo annuo, giacchè quei quattro satelliti venivano tutti eclissati 16,5 minuti più tardi (Römer aveva in principio trovato per ciò il numero troppo alto di 22 minuti) di quanto dava il calcolo, quando Giove si trovava in congiunzione col Sole, rispetto alle epoche corrispondenti per la sua opposizione. Ora noi sappiamo che la variazione apparente del diametro del pianeta non può essere che una conseguenza della variazione della distanza da noi. Ma avremo ben presto occasione di misurare queste varie distanze anche in modo diverso e più esattamente da quello che ci permise di dedurle come conseguenza del diametro variabile, ed allora troveremo che rispetto al Sole la differenza tra congiunzione ed opposizione ammonta a circa 300 milioni di km. Römer suppose subito che il ritardo nel prodursi delle eclissi nella massima distanza del pianeta, poteva provenire soltanto da ciò che la luce impiega un certo tempo a percorrere questa differenza di distanza. Seguirebbe quindi dall'osservazione delle eclissi dei satelliti di Giove che la luce in un minuto secondo percorre un numero di chilom. dato da $300.000.000 : 16{,}5 \times 60 = 300.000$, risultato che fu pienamente confermato dalle ricerche fisiche. Quindi noi dobbiamo tener conto di questa velocità della luce non soltanto per quelle eclissi, ma anche per tutti gli altri fenomeni astronomici, almeno in tutti quei casi e movimenti di corpi dei quali conosciamo la distanza dalla Terra. Anche nelle coppie di stelle, la cui distanza ci è generalmente ignota, ma la cui variazione di distanza lungo il percorso della loro orbita ci è divenuta nota a mezzo dello spettroscopio o per altra via, occorre tener conto di quella velocità della luce. Nel sistema planetario ciò si fa d'ordinario deducendo il tempo che la luce richiede a percorrere la distanza dal corpo celeste a noi, dal tempo osservato del fenomeno relativo e dalla posizione del corpo celeste. Si riducono così tutte le osservazioni al momento della partenza del raggio di luce dal corpo celeste.

Anche nel sistema di Giove avvengono delle eclissi solari, e stante la distanza noi possiamo tener dietro al corso del fenomeno con evidenza molto maggiore che non sia a noi concesso da un'eclisse solare. Noi vediamo l'ombra del satellite di Giove scorrere sulla superficie del pianeta e delineare per tal guisa la zona di totalità (V. la unita tavola colorata). Poichè noi vediamo del pari il satellite che produce l'eclisse, noi possiamo senz'altro conoscere la posizione del cono d'ombra nello spazio. Secondo che il pianeta si trova prima o dopo la sua opposizione, l'ombra projettata si trova ad oriente o ad occidente del corpo che è causa dell'oscuramento. Ora, anche per il nostro luogo di stazione si è il satellite che passa avanti al disco di Giove, prima che la sua ombra colpisca la superficie del



ASPETTO DEL PIANETA GIOVE DA UN LUOGO IDEALE D'OSSERVAZIONE SOPRA UNO DEI SUOI SATELLITI

Disegno originale di *W. Kranz*.

pianeta, altra volta invece nella posizione opposta del Sole l'ombra precede il satellite. Corrispondentemente le eclissi dei satelliti stessi avvengono ad oriente o ad occidente di Giove.

Intendendo le eclissi in senso largo, debbonsi annoverare fra esse i *passaggi* o *transiti* e le occultazioni dei corpi celesti, dei quali quasi ogni giorno possiamo osservarne alcuni nel sistema gioviale. Nella Parte Prima già tenemmo discorso dei passaggi davanti al disco del pianeta e degli speciali fenomeni che vi si vegono. È facile il vedere come questi e le occultazioni si spieghino facilmente a mezzo del movimento circolare dei satelliti. E possiamo ancora, procedendo oltre, intendere come s'incontrino nei campi sterminati del mondo stellare gli stessi fenomeni che da tempo immemorabile gettano il genere umano in una generale ansietà. Studiando i movimenti delle stelle doppie ed i fenomeni di certi gruppi stellari noi abbiamo già avuto occasione di constatare che essi si possono spiegare, a mezzo di transiti e di eclissi, di natura perfettamente identica a quelle che noi osserviamo sul Sole, la Luna e gli altri corpi del sistema planetario.

Anche le occultazioni di stelle fisse, prodotte dalla Luna, appartengono a questo capitolo. A cagione della quantità enorme di stelle e della grandezza del diametro della Luna relativamente ragguardevole, quotidianamente avvengono di tali occultazioni di stelle: ma d'ordinario si tratta di stelle così piccole, che esse scompaiono per effetto dell'irradiazione già nei pressi del lembo luminoso della Luna, e solo si potrebbe talvolta osservare la loro riapparizione o scomparsa dal lembo oscuro della Luna. Però una tale osservazione unilaterale ha poco valore per le questioni astronomiche; poichè d'ordinario le posizioni di queste piccole stelle non sono conosciute abbastanza esattamente, da permettere di dedurre dall'osservazione una conclusione intorno ad una qualsiasi correzione del sito della Luna. Le occultazioni delle stelle più lucide sono per contro osservate molto diligentemente. Fra le stelle di prima grandezza, naturalmente, possono venir occultate soltanto quelle che si trovano in vicinanza dell'eclittica: esse sono Aldebaran nel Toro, Regolo nel Leone, Spica nella Vergine ed Antares nello Scorpione. L'ingresso e l'egresso sono nelle occultazioni di stelle, come nelle eclissi solari diversi per ogni luogo della Terra, giacchè a cagione dello spostamento parallattico della Luna, la sua posizione fra le stelle varia da luogo a luogo d'osservazione. Può anzi darsi che la Luna da un dato luogo sia vista passare centralmente davanti ad una stella, mentre per un altro non appare coprirla. La massima durata di una tale occultazione è uguale al tempo che la Luna impiega a percorrere, nel suo movimento di rivoluzione, il suo proprio diametro; questo tempo ascende a 60 o 61 minuto.

Noi già sappiamo che i pianeti passano talvolta dietro e davanti al Sole. Poichè le loro orbite celesti, che noi studieremo più da vicino nel capitolo seguente, sono come l'orbita della Luna inclinate rispetto all'eclittica, così i passaggi e le occultazioni dei pianeti avvengono solo di rado. Tutti i pianeti possono passare dietro il Sole; ma a cagione dell'intenso splendore dell'astro del giorno questi fenomeni non si possono osservare, poichè, come è noto, qui i pianeti si mostrano sempre come dischi pieni illuminati intensamente. Diversamente avviene per i passaggi davanti al Sole, che si presentano soltanto per Mercurio e Venere. In quei casi questi pianeti rivolgono a noi la loro parte in notte, e si mostrano quindi sul disco del Sole come dischi neri ben distinti; quello di Venere si può vedere ad

occhio nudo, quando ad affievolire l'intensità della luce solare si adoperi un vetro affumicato.

L'ultimo passaggio di Mercurio davanti al Sole avvenne il 10 novembre 1894; il prossimo accadrà il 4 novembre 1901. Il primo fu osservato da P. Cysat in Innsbruck il 6 dicembre 1631. I fenomeni si ripetono nel periodo di 46 anni, in guisa che in quel lasso di tempo avvengono sei passaggi. Questo ritorno ha la stessa causa del periodo del Saros per le eclissi lunari. L'osservazione dei passaggi di Mercurio davanti al Sole serve specialmente a migliorare le nostre cognizioni sul movimento di questo pianeta. Al pari delle eclissi solari, alle quali questo

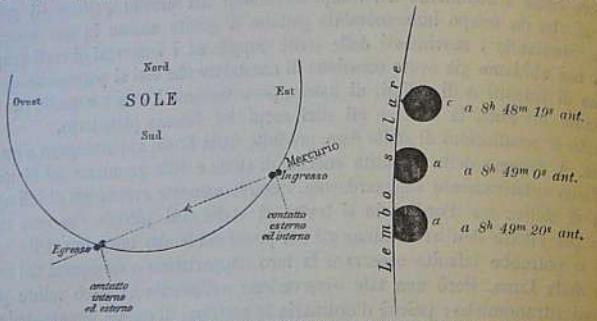


Fig. 253. — Transito di Mercurio del 7 maggio 1878. Fenomeno della goccia osservato da Tebbutt alla Nuova Galles del Sud.

fenomeno è analogo, nell'osservazione si distinguono quattro momenti, il contatto esterno ed interno all'ingresso ed all'egresso. I contatti esterni non si possono osservare con sicurezza, poichè non è possibile vedere preventivamente il pianeta nei pressi del Sole, e soltanto allora si scorge l'avvenimento compiuto, quando una notevole porzione del lembo solare è coperta. Ma all'osservazione del contatto interno si oppose sempre un'altra difficoltà, quella del presentarsi della così detta goccia o fascia nera. Questa apparenza è ben chiarita dalla figura, che rappresenta l'uscita di Mercurio in occasione del passaggio del 7 maggio 1878, quale fu osservato da Tebbutt nella Nuova Galles del Sud. All'avvicinarsi di Mercurio al Sole, si vide bruscamente il disco del pianeta allungarsi verso il lembo solare, così da spingere fino ad esso il suo orlo, a guisa di cuspide, che ben presto si allargò in una banda. Solo 10 o 20 secondi più tardi avvenne apparentemente il reale contatto dei due dischi.

Si discusse allora quale sia stato il momento effettivo del vero contatto; se il fenomeno si fosse potuto spiegare colla nota irradiazione, allora si sarebbe dovuto designare come vero istante del contatto il primo presentarsi della goccia nera, poichè la goccia dimostrava allora che ivi il lembo del Sole era effettivamente coperto e quindi cessata l'irradiazione. Questa spiegazione era a tutta prima la più probabile; ma poichè alcuni osservatori nulla poterono scorgere di questa goccia nera, così essa rimase discutibile. Intorno a tale questione, che era anche impor-

tante per i passaggi di Venere, dei quali discorreremo in seguito, molto si discusse e si sperimentò. Di ciò si occuparono assai i francesi André ed Angot, e finalmente ridussero la formazione della goccia ad un fenomeno di diffrazione, la cui intensità dipende dall'apertura dell'obiettivo. Oggidì si ammette generalmente che l'istante del prodursi della goccia nera sia quello che deve venir fissato dall'osservazione.

I passaggi dei pianeti davanti al disco del Sole sono molto più lunghi di quelli della Luna, a causa del movimento assai più lento dei pianeti. Per il passaggio di Mercurio del 10 maggio 1891, i momenti corrispondenti furono:

	Ingresso		Uscita	
	Contatto interno	Esterno	Contatto interno	Esterno
Melbourne	9h 34m 21s	9h 39m 12s mattino	2h 27m 3s	2h 31m 54s pom.
Hongkong	7 33 30	7 38 24	0 21 34	0 26 30

A cagione delle differenti lunghezze della corda che il pianeta nel suo transito descrive sul disco del Sole, quegl'istanti sono naturalmente molto diversi nei vari passaggi, ma anche per luoghi differenti si constata una differenza, benchè relativamente minore, dell'ingresso e dell'egresso, che deve ascriversi alla parallasse. Perciò questi momenti vennero fin dal 1677, in occasione del passaggio di Mercurio, utilizzati da Halley per la determinazione della parallasse, dalla quale poi poteva dedursi a quel modo che vedremo più avanti la grandezza, fondamentale per l'astronomia, della parallasse solare.

A questo scopo servono molto meglio i passaggi di Venere; soltanto questi avvengono pur troppo molto più raramente di quelli di Mercurio. La loro periodicità è ripartita fra intervalli di 105,5, 112,5 ed 8 anni, di guisa che, ad esempio, gli ultimi quattro passaggi di Venere avvennero in giugno del 1761 e 1769, ed in dicembre del 1874 e 1882, ed i prossimi cadranno nelle date, segnate nella tabella seguente:

Anno	Giorno	Epoca della metà del passaggio in tempo medio dell'E. C.	Semidurata del transito	Minima distanza geocentrica tra ☉ e ♀
2004	8 giugno . .	9h,8 mattino	2h 45m	11',3 Sud
2012	6 » . .	3,0 »	3 21	8,3 Nord
2117	11 dicembre . .	3,9 »	2 23	13,0 Nord
2125	8 » . .	5,1 sera	2 48	11,5 Sud

Così in tutto il secolo ventesimo non accadrà alcun passaggio di Venere. I primi di questi fenomeni furono predetti da Keplero, in base alle tavole planetarie da lui composte, e precisamente il primo pel 1631, che però non fu osservato (Keplero morì poco prima) ed il secondo pel 1761. Keplero aveva trascurato il passaggio del 1639, e si fu precisamente questo che fu per il primo osservato; esso fu preventivamente calcolato dall'inglese Horrox, ed osservato sopra una proiezione dell'immagine del Sole. Ad osservare i due passaggi del secolo decimottavo furono inviate grandi spedizioni nei luoghi convenienti onde determinare

poi la parallasse solare. In realtà per la determinazione di quel valore fondamentale non si aveva alcun metodo più sicuro, finchè non si avevano ancora a disposizione istrumenti di esattezza uguale a quella dei nostri moderni, giacchè per tutta l'osservazione non occorreva che un cannocchiale di modesta forza ottica, senza alcun congegno di misura, ed un orologio che camminasse discretamente. Il vero congegno di misura era il Sole stesso; si trattava solamente di misurare le differenti lunghezze delle corde, che si vedevano percorrere da Venere sul disco del Sole dai differenti luoghi d'osservazione. Perciò era necessario soltanto di esprimere in un qualsiasi sistema di tempo gli istanti dell'ingresso e dell'egresso; e poi per il calcolo della lunghezza della corda occorreva unicamente, di aver ben notato precisamente l'intervallo di tempo fra quei due istanti. La figura 254 chiarisce ciò: T è la Terra, V Venere, S il Sole. Dal luogo d'osservazione *a* si vede Venere entrare in *g* sul disco solare ed uscirne in *h*; per il luogo *b* questi punti sono *e* ed *f*. Le differenti lunghezze delle due corde, che sono date direttamente dall'osservazione, permettono di calcolare la loro distanza normale *c d*, e questa fornisce poi l'angolo parallattico in V. Gli spostamenti parallattici che si producono a questo modo, sono molto notevoli, come si scorge dalle due riproduzioni di fotografia nella figura 255; di esse una mostra Venere sul disco solare in Ispahan l'8 dicembre 1874; l'altra è una immagine del Sole, che fu presa quasi esattamente nel medesimo istante nella stazione scelta da una spedizione tedesca all'isola Auckland.

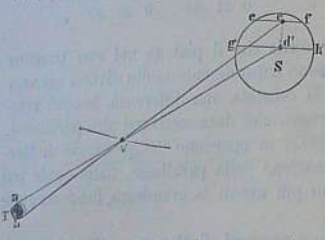


Fig. 254. — Osservazione di un passaggio di Venere.

Il metodo esposto, di dedurre la parallasse cercata dalle pure osservazioni di contatto dell'ingresso e dell'egresso istituite in due luoghi fra loro il più possibilmente lontani, è dovuto ad Edmondo Halley, che diede diffuse indicazioni per il passaggio del 1761, al quale la morte gli impedì di assistere. Egli calcolò anche i passaggi futuri di Venere. Non è senza interesse per noi il constatare, che già allora le cognizioni intorno ai movimenti dei corpi celesti erano così avanzate, che quell'eccellente calcolatore potè determinare, due secoli prima, il passaggio del 1874 con 4 minuti di approssimazione. A dire il vero però la minima distanza fino alla quale Venere si accostò al centro del disco solare, concordò molto male col calcolo; Halley diede per questo valore 3'3", mentre il vero valore fu di 13'3/4. Questo errore proviene da ciò che l'astronomo inglese ritenne come immobile il punto d'intersezione dell'orbita di Venere coll'eclittica (nodo), il che non è conforme al vero. In conseguenza di ciò erano inesatti anche tutti i dati di Halley intorno ai punti favorevoli alla migliore osservazione del fenomeno del 1761. In realtà l'ingresso geocentrico del centro di Venere nel Sole, cioè quello che avviene senza effetto parallattico, si verificò in quell'anno nella notte dal 5 al 6 luglio a 2 ore 22 minuti 10 secondi di tempo vero di Parigi, l'egresso per contro ad 8 ore 38 minuti 35 secondi del mattino: Venere impiegò quindi 6 ore 16 minuti 25 secondi, per attraversare il disco solare da Est ad Ovest.

Vediamo da questi dati che l'ingresso avvenne in un istante, nel quale il Sole non era in Europa sopra l'orizzonte; ivi si potè soltanto osservare l'egresso nelle ore mattutine. Il percorso intiero di Venere sul disco del Sole, che secondo il metodo di Halley doveva essere completamente osservato, potè essere visto soltanto in Asia, dall'Oceano Indiano e da parte dell'Australia. In quelle regioni fu difficile trovare luoghi convenienti d'osservazione che fossero fra loro lontani quanto più era possibile, a Sud e a Nord dell'equatore. Il massimo spostamento parallattico per la durata del passaggio ammontò soltanto a 9 minuti; mentre in casi favorevoli di altri passaggi di Venere questa differenza può salire fino a 23 minuti. La grandezza di questa differenza ha un'influenza essenziale sull'esattezza del risultato. Perciò, dal lato della pura astronomia il passaggio di Venere del 1761 era già meno favorevole;

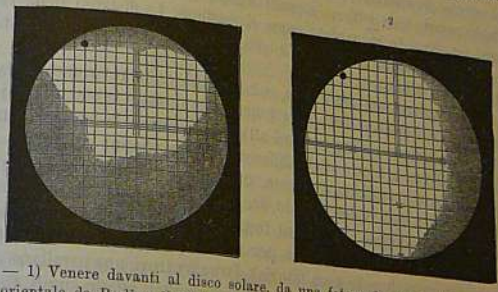


Fig. 255. — 1) Venere davanti al disco solare, da una fotografia presa ad Ispahan (Longitudine orientale da Berlino $2^h\,33^m\,5^s$, latitudine settentrionale $32°\,38'$), l'8 dicembre 1874, a $6^h\,31^m\,21^s$ antim. di tempo medio di Berlino; 2) Venere davanti al disco solare, secondo una fotografia presa alla stazione di Auckland ($10^h\,11^m\,15^s$ di longitudine orientale da Berlino, e $50°\,32'$ di latitudine australe) a $6^h\,33^m\,18^s$ antim. di tempo medio di Berlino.

a ciò si aggiunse che per la prima volta si vide prodursi il fenomeno della goccia nera, in causa del quale alcuni astronomi, che osservavano il fenomeno da un medesimo luogo, videro gli istanti corrispondenti con differenze l'uno dall'altro di più di 30 secondi. Non si realizzò quindi la speranza di Halley, che si potessero osservare i contatti con sicurezza fino ad un secondo di tempo e quindi determinare la distanza del Sole da noi fino ad un cinquantesimo del suo valore, e ciò benchè il passaggio fosse stato felicemente osservato da 70 luoghi della Terra. La parallasse solare, il cui valore era fino a quei tempi ritenuto di 14″, risultò dalle osservazioni incerto di 2 o 3 secondi d'arco.

Per ciò con tanto maggior zelo si attese agli estesi lavori preparatorii all'osservazione del passaggio che doveva avvenire 8 anni più tardi. L'ingresso di Venere, accadde questa volta il 3 giugno 1769 a 7 ore 36 minuti 16 secondi di sera, tempo vero di Parigi; l'egresso nella notte seguente ad 1 ora 37 minuti 57 secondi. Quindi neppure questa volta si poteva dall'Europa vedere tutto il fenomeno, ma solo in parte l'ingresso. Solo nell'alto Nord dell'Europa, a cagione della brevità della notte artica era visibile anche l'egresso, al levare del Sole. Per tal

motivo, si mandò, fra le altre, anche una spedizione a Wardhus, sotto 70° 23′ di latitudine Nord. La stazione più meridionale era ad Otaheiti a 17° 29′ di latitudine Sud. La differenza delle parallassi fra questi due luoghi era notevolmente maggiore, che nel passaggio antecedente, ma anche questa volta la goccia nera preparava gravi difficoltà, sebbene essa non fosse più inattesa. Precisamente nei due luoghi estremi nominati, nella percezione del medesimo istante per opera di osservatori differenti s'ebbero differenze, rispettivamente di 20 e 22 secondi. Quindi le osservazioni diedero di nuovo valori molto differenti della parallasse solare; il suo valore minimo era di 7″,5. Le vaste ricerche di Lexell diedero per quella grandezza fondamentale, dedotta dal passaggio del 1769, il valore di 8″,63. Più tardi Encke discusse di nuovo il complesso di tutte le osservazioni dei due passaggi del secolo decimottavo, sottoponendo a calcolo 250 osservazioni, e trovò per la parallasse solare $8{,}577 \pm 0{,}0370$ secondi d'arco, valore che fino ad alcune diecine d'anni or sono, fu riguardato come il migliore. La distanza della Terra dal Sole sarebbe con esso di 20.682.329 miglia, quando si adottino i valori di Bessel per le dimensioni terrestri.

Però questo valore non era esatto, come risultò dalla revisione del lavoro di Encke istituita da Powalky. Per poter tener conto di tutte le osservazioni di contatto, relative solamente all'ingresso od all'egresso, Encke le aveva ridotte tutte al centro della Terra a mezzo delle differenze di longitudini dei luoghi d'osservazione da un certo meridiano d'origine, utilizzando una parallasse provvisoria da correggersi poi a mezzo del metodo dei minimi quadrati. Ma apparve chiaro che a ciò, si erano adottate per alcuni luoghi delle longitudini geografiche che non erano esatte. Ripetendo il calcolo per il solo passaggio del 1769 (giacchè il precedente meritava realmente poca fiducia), Powalky trovò una parallasse di 8″,86.

I due passaggi del secolo decimonono diedero risultati affatto simili. Con istrumenti di precisione quali l'eliometro, armati e sostenuti da quel mezzo tanto largo di sussidio che è la fotografia, non fu più necessario di dare la massima importanza al metodo tanto incerto dell'osservazione dei contatti. In essi si misurò e si fotografò incessantemente Venere sul disco del Sole durante il passaggio, e si potè così moltiplicare a volontà le osservazioni. Però fu necessario anche di determinare molto precisamente la posizione geografica dei luoghi d'osservazione. Il còmpito per tanto delle numerose spedizioni si venne di molto allargando, e dispendioso assai divenne il loro allestimento. Non si risparmiò però alcuna spesa, così che le spedizioni per il passaggio di Venere, del secolo presente, possono al pari dei lavori dell'Associazione Geodetica per la misura della Terra, e quelli per la Carta fotografica celeste, essere annoverate fra le più grandiose manifestazioni dell'attività internazionale d'indagine. Fin dal 1868 cominciarono i lavori preparatori per il passaggio che doveva avvenire 6 anni più tardi; gli istrumenti vennero accuratamente saggiati, si costrussero degli apparecchi che producevano artificialmente un passaggio di Venere, e quindi mostravano la parvenza della famigerata goccia nera, colla quale quindi era possibile il famigliarizzarsi preventivamente. Tutti gli Stati civili allestirono delle spedizioni; la Germania ne preparò cinque, con eliometri ed apparecchi fotografici. Esse andarono a Tchifu, Ispahan, una delle isole Auckland, una delle isole Kerguelen e Maurizio. Tra Ispahan e l'isola Auckland intercede una differenza in latitudine di 93 gradi. La Francia aveva mandato sei

spedizioni, e l'Inghilterra non meno di 29 (a). Il mezzo del fenomeno cadde questa volta geocentricamente a 4 ore 15 minuti 52 secondi (tempo medio di Parigi) antimeridiane del 9 dicembre; tutta la durata fu di 4 ore 39 minuti 15 secondi; la minima distanza dei centri dei due corpi fu di 13' 47". Venere si moveva quindi ben vicino al lembo del Sole; circostanza molto sfavorevole, per i risultati che se ne dovevano dedurre. Anche il tempo fu contrario a buona parte delle missioni. I valori della parallasse solare ricavati dalle osservazioni oscillarono fra i limiti 8",75 ed 8",93, diedero quindi un valore notevolmente maggiore, di quello che Encke aveva accettato per quella grandezza fondamentale.

Le circostanze erano più propizie per il secondo passaggio il 6 dicembre 1882; il mezzo del fenomeno cadde a 5 ore 13 minuti 47 secondi pomeridiane (tempo medio di Parigi); tutta la durata salì a 6 ore 17 minuti 9 secondi, la minima distanza a 10' 41". Tutto il fenomeno fu visibile dalla baia d'Hudson nell'America settentrionale fino al Capo Horn. Dall'Europa e solo nella parte occidentale, per contro, non si poteva vedere che l'ingresso, la regione dell'egresso giaceva sul Grande Oceano. Questa volta la Germania allestì quattro spedizioni che andarono rispettivamente ad Hartford (Connecticut), Aicken (Carolina del Sud), Bahia Blanca (Argentina) e Punta Arenas (stretto di Magellano). I lavori di questo secondo passaggio, sopratutto a motivo dell'esperienza acquistata dagli osservatori nel passaggio precedente, furono coronati da miglior successo. Ma trascorse molto tempo, prima che fossero conosciuti i risultati delle spedizioni, che ogni nazione deve dedurre da sè, poichè vi era un materiale enorme da elaborare. Per dedurre la posizione del pianeta rispetto al centro del Sole in ogni momento dell'osservazione si dovettero misurare con esattezza faticosa, al microscopio, migliaia di fotografie di Venere sul disco solare; quindi si dovettero discutere le osservazioni che erano state istituite per fissare la posizione geografica di ciascun luogo d'osservazione, finalmente poi era d'uopo dedurre il valore più probabile della parallasse solare dal complesso delle osservazioni di una nazione, a mezzo di alcune centinaia di equazioni di condizione. Il riprodurre i risultati di tutte le spedizioni ci condurrebbe troppo lontano. Finora non fu dedotto un valore medio dal complesso di tutte le osservazioni dal 1874 al 1882. Frattanto però si può dire che questo valore deve essere molto vicino ad 8".85.

I meravigliosi progressi fatti poi dall'arte delle misure di precisione, indussero alla convinzione, che i passaggi di Venere non offrivano più, alla determinazione della parallasse solare, l'essenziale vantaggio, che sembravano possedere ai tempi di Halley od anche ancora nel secolo decimottavo. Inoltre quei fenomeni celesti erano troppo rari. Quindi nei tempi moderni si cercò di determinare il valore della parallasse solare, per vie affatto diverse. È pregio dell'opera, in aggiunta ai risultati delle spedizioni per i passaggi di Venere, il rammentare qui questi lavori, e passarli in rapida rassegna storica.

Già in altro luogo, menzionammo il tentativo fatto da Aristarco di Samo per determinare il rapporto delle distanze del Sole e della Luna da noi. Rigorosamente parlando, è doveroso il designare quello, come la prima determinazione

(a) [L'Italia ne mandò una sola nell'India. (O. Z. B.)].

della parallasse solare, che però, come noi sappiamo, fallì del tutto. L'alessandrino Ipparco, potè già procedere molto più esattamente. Egli ebbe un'idea felicissima che collegò con quella di Aristarco. Si può facilmente dimostrare, che alla distanza della Luna la somma dei semidiametri del Sole e dell'ombra terrestre veduti dalla Terra deve essere uguale alla somma delle parallassi del Sole e della Luna. La prima grandezza angolare potè essere determinata direttamente con facilità; Ipparco ammise per essa $39 + 15 = 54$ minuti, il che corrisponde discretamente alla verità. Ma per poter separare l'una dall'altra le due incognite, parallasse solare e lunare contenute in questo risultato, egli doveva conoscere il loro rispettivo rapporto numerico, per esso egli assunse disgraziatamente il falso valore di Aristarco, ammettendo che, in cifre rotonde, il Sole fosse venti volte più lontano della Luna; ciò diede 2,7 minuti per la parallasse solare. Nel 1650, l'olandese Wendelin ripetè l'osservazione di Aristarco, misurando l'angolo fra il Sole e la Luna, all'epoca del primo e dell'ultimo quarto. Egli trovò per esso, già molto più giustamente 89° 45', il qual valore introdotto nella relazione di Aristarco, diede ancora per la parallasse solare soltanto 14 secondi d'arco, cioè una distanza notevolmente maggiore, di quanto si fosse fino allora congetturato per l'astro centrale. Poco tempo dopo la memorabile spedizione di Richer a Cajenna, che già menzionammo in occasione delle osservazioni col pendolo, a mezzo della misura dell'altezza di Marte contemporaneamente colà ed a Parigi, ridusse quel valore angolare a $9''{,}5$, e sospinse quindi il Sole ad una distanza ancora maggiore.

Ai giorni nostri si impiegarono delle osservazioni meridiane di Marte istituite ripetutamente in luoghi corrispondenti ed il più possibile differenti in latitudine, allo scopo di determinare la parallasse solare. Come si comprende di leggieri, in questo caso si osserva direttamente, come nei passaggi di Venere, la parallasse del pianeta stesso; ma vedremo ben presto, che per poter trovare le distanze dei pianeti, basta conoscere quella di uno qualunque di essi, poichè i loro reciproci rapporti si possono ottenere con tutta la desiderabile precisione col calcolo, mentre soltanto la determinazione di parallasse fornisce il rapporto di quelle distanze al diametro terrestre, e quindi ad una data unità di misura, quale ad esempio il metro della Convenzione. Per ottenere uno spostamento parallattico quanto più grande è possibile, si potrebbero utilizzare fra i grandi pianeti soltanto quelli prossimi alla Terra, Venere e Marte. Ma poichè Venere, nella sua massima vicinanza alla Terra, si trova fra noi ed il Sole, la sua osservazione riesce allora troppo difficile, quando essa non passi precisamente davanti al disco del Sole. Per Marte, all'opposto, prevalgono le condizioni più favorevoli possibili, giacchè egli ci è più che mai vicino, quando culmina a mezzanotte, cioè quando sta in opposizione. Nell'opposizione di Marte del 1877 si istituirono delle esatte misure di altezza di quel pianeta contemporaneamente al Capo di Buona Speranza ed in parecchi osservatori europei; dal calcolo di esse, Gill trovò la parallasse solare eguale ad $8''{,}78$; Eastman per contro ad $8''{,}95$.

Da 17 anni, su proposta di Galle, anche gli asteroidi più lucenti vengono adoperati a quello scopo; essi sono bensì molto più lontani di Marte, ma hanno il vantaggio di apparirci come punti, e quindi negli strumenti si possono mirare più esattamente del lembo di un pianeta. Da osservazioni di Flora istituite nel-

l'anno 1873, Galle trovò la parallasse solare eguale ad 8,873. Giunone diede (secondo Lord Lindsay e Gill), 8″,765.

Un metodo affatto diverso per la determinazione di quella quantità fondamentale consiste nella misura della velocità della luce una volta per via astronomica, un'altra a mezzo di esperimenti fisici. Così, ad esempio, Guglielmo Struve aveva trovato, colla determinazione di quella che è detta costante dell'aberrazione, della quale ci occuperemo più tardi, che la luce impiega 8 minuti 17,8 secondi per venire dal Sole a noi. Si sarebbe potuto determinare, come già vedemmo più sopra, questo valore a mezzo di osservazioni delle eclissi dei satelliti di Giove; ma siccome questi non avvengono istantaneamente, così essi non offrono allo scopo attuale sufficiente esattezza. Ora, come già sappiamo, Foucault aveva trovato, che in cifre rotonde la velocità della luce è di 300.000 km. al minuto secondo. Nell'intervallo di tempo sopra riportato la luce percorre 149 ¼ milioni di km.; ad una tale distanza, il raggio terrestre apparirebbe sotto un angolo di 8″,86, e questo valore e cioè la parallasse solare si deducono dalla misura della velocità della luce. Nell'anno 1874, il francese Cornu ripetè queste misure ed ebbe per velocità della luce 300.300 km. Inoltre Delambre aveva determinato il tempo impiegato dalla luce per venire dal Sole a noi e l'aveva trovato inferiore di 4,6 secondi a quello di Struve. Il confronto dei due numeri dà per valore della parallasse solare una cifra solo insignificantemente diversa dall'ultima data, ed è 8″,881.

Noi vediamo che i numeri trovati nei giorni nostri sono compresi fra 8,8 ed 8,9. A questi s'aggiungono alcuni altri risultati, ottenuti per vie indirette, delle quali qui noi non possiamo occuparci. Ultimamente tutti i valori della parallasse solare furono discussi complessivamente da Newcomb, che adottò come il più probabile valore di questa importante costante astronomica 8″,85, che certamente non è lontano dal vero di più di un centesimo di secondo d'arco. Da esso risulta che la distanza del Sole è di 24.266 raggi equatoriali terrestri, ovvero, adottando per la Terra le dimensioni di Bessel, 154.757.000 km. (*a*). Se si confermerà che l'incertezza di questo valore non supera un centesimo di secondo d'arco, esso si accosterà alla verità fino a 175.000 km., ossia 27 ½ raggi terrestri. Se riflettiamo che il più lontano dei pianeti del nostro sistema solare dista da noi trenta volte più del Sole, che comete conosciute s'allontanano dalla Terra parecchie centinaia di volte la distanza tra noi e l'astro del giorno, e che le stelle più vicine sono separate da noi da intervalli di migliaia di volte quell'unità astronomica, ed ancora

(*a*) [I numeri dati nel testo sono completamente falsi. Essi vanno sostituiti coi seguenti 23.311,7 raggi equatoriali terrestri, ossia 148.670.000 km. Che così poi debba essere lo prova la considerazione ovvia che una parallasse maggiore corrisponde ad una distanza minore e viceversa. Il valore della parallasse solare oggidì generalmente accettato è di 8.80″, e fu adottato dalla Conferenza internazionale delle stelle fondamentali, riunita in Parigi nel 1896. A quella parallasse corrisponde una distanza media del Sole dalla Terra di 23.439,18 raggi equatoriali terrestri, ossia 149.501.000 km. Questi numeri sono dati dall'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pel 1899.

Dicesi *equazione della luce* il tempo che la luce impiega, in media, per andare dal Sole alla Terra. I dati più attendibili di essa equazione sono oggi 8ᵐ 18ˢ,6, dedotti da Newcomb a mezzo della velocità della luce. Invece combinando il valore 20″.47 della costante dell'aberrazione col movimento medio diurno del Sole si ottiene 8ᵐ 18ˢ,4. (O. Z. B.)].

che in tutte queste misure di distanza s'introduce l'incertezza sopra la parallasse solare, moltiplicata per quei numeri relativi, comprenderemo quanto rimanga ancora a farsi per consolidare le nostre cognizioni sulle distanze nell'universo. È però conveniente il ripetere qui ancora una volta, che le distanze relative di questi corpi celesti, che ci servono ad imparare le leggi del movimento e dell'ordine nell'universo, ed a dimostrare la loro generale sussistenza, si possono determinare con molta maggior precisione con regole geometriche, e che la grande incertezza s'introduce nei calcoli quando ci si propone il còmpito di tradurre quei numeri relativi in unità di misura per noi intelligibili. Ma appunto per ciò è indispensabile la più minuta precisione nella determinazione e conservazione di tali unità di misura, quali il metro della Convenzione.

8. — I movimenti apparenti dei pianeti.

Se noi teniamo dietro ai movimenti dei pianeti con quel modo medesimo che seguimmo per il Sole e la Luna, riconosceremo in quelli delle particolarità, delle quali nessuna si osserva in questi: i pianeti non soltanto si muovono con velocità essenzialmente variabili, ma talvolta nel loro corso cambiano così completamente di direzione, che la loro ascensione retta, che per il Sole e per la Luna cresce costantemente finchè sia completato un giro intiero, comincia allora a diminuire; il moto dei pianeti diviene " retrogrado „. In tali contingenze essi cambiano anche per lo più la loro declinazione in guisa che nel rovesciarsi del moto si genera un vero nodo, quali quelli che abbiamo rappresentati per i pianeti conosciuti dagli antichi nelle figure 256, 257, 258, 259, 260. Questi nodi speciali non sono solamente differenti di forma e grandezza da pianeta a pianeta, ma anche e successivamente per un medesimo pianeta.

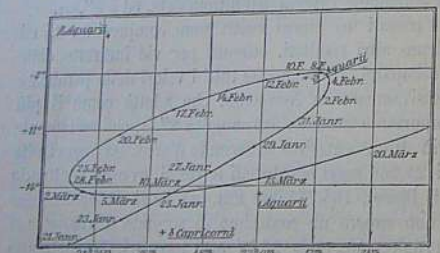


Fig. 256. — Movimento apparente di Mercurio nel 1889.

Facciamoci a tener dietro ai movimenti di Mercurio durante una rivoluzione sinodica, che abbraccia 116 giorni: partiamo dalla congiunzione superiore del pianeta col Sole avvenuta il 28 novembre 1896. È noto che in una tale situazione il pianeta sta al di là del Sole ed ha il minimo diametro. Esso si trova in principio alquanto a Sud del Sole; il suo movimento è diretto e precede il Sole. La sua declinazione australe cresce ancora e diviene di 2° maggiore di quanto quella del Sole possa mai divenire; il pianeta si trova quindi a Sud dell'eclittica. Il movimento di precedenza si rallenta poi man mano sempre più. Il 10 gen-

naio 1897 il pianeta attraversa l'eclittica e passa a Nord di essa; esso si trova nel suo nodo ascendente. Tra il 12 ed il 13 il suo movimento in ascensione retta è quasi nullo, mentre la declinazione australe diminuisce ancora, vale a dire il pianeta si muove quasi esattamente verso Nord. Poi il pianeta gira, l'ascensione retta scema sempre più celeremente, ed il 19 avviene anche un rovesciamento del movimento in declinazione. In quel frattempo il pianeta era venuto accostandosi a noi di continuo, come dava a divedere l'aumentarsi del suo diametro; la congiunzione inferiore col Sole avviene il 22 gennaio. Il movimento retrogrado però continua fino al 3 febbraio. Ora mentre questo cresce sempre ancora il pianeta si allontana di nuovo da noi; il 17 febbraio esso attraversa di nuovo l'eclittica, questa volta però procedendo verso Sud; esso passa per il suo nodo discendente. Questi passaggi del pianeta dal di sopra al di sotto dell'eclittica e viceversa non avvengono però in punti corrispondenti, come per il Sole e per la Luna, così che il nodo ascendente è diverso di 180 gradi da quello discendente; e neppure questi passaggi si producono ogni volta sempre in punti determinati dell'eclittica, così che si possa discorrere di una linea dei nodi del pianeta, come per il Sole e la Luna per i quali astri essa ha un moto relativamente lento sull'eclittica. Così ad esempio, l'eclittica fu attraversata nel moto ascendente il 10 gennaio, in una A. R. di 20^h 45^m, nel moto discendente il 17 febbraio con A. R. di 20^h 41^m, il nodo successivo ascendente, l'8 aprile, aveva un'ascensione retta di 1^h 34^m, quello discendente il 16 maggio un'A. R. di 4^h 4^m. Mercurio, dopo aver nel suo moto discendente attraversato l'eclittica, procede innanzi con moto diretto e non subisce di poi alcuna variazione, finchè il 2 aprile 1898 raggiunge la sua successiva congiunzione superiore col Sole, per ripetere nella seguente rivoluzione sinodica in simil guisa lo stesso ciclo di vicende.

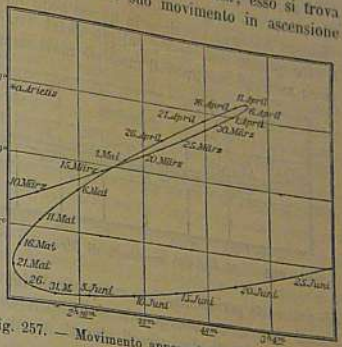


Fig. 257. — Movimento apparente di Venere nel 1889.

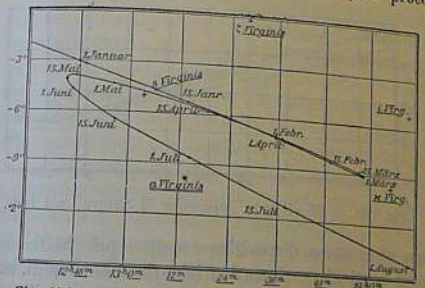


Fig. 258. — Movimento apparente di Marte nel 1888.

I movimenti di tutti i pianeti concordano in ciò, che in ogni rivoluzione sinodica, formano sempre soltanto un nodo. Per Mercurio e Venere, il massimo movimento retrogrado avviene in questo nodo durante le congiunzioni inferiori, vale a dire quando essi sono a noi più vicini. Lo stesso avviene per i pianeti superiori; anch'essi mostrano il massimo movimento retrogrado, quando sono a noi più vicini, cioè stanno in opposizione. Ma tutti questi movimenti si svolgono vicino all'eclittica, dalla quale i pianeti possono allontanarsi soltanto di pochi gradi. Le massime distanze dall'eclittica sono alquanto diverse per ogni rivoluzione sinodica, ma mostrano in ciò una certa periodicità, sulle cui particolarità come su altre dei movimenti dei pianeti ritorneremo allorquando ci occuperemo di trovarne la spiegazione. Qui avvertiamo soltanto che i piccoli pianeti, fra Marte e Giove, possono allontanarsi molto di più dall'eclittica, così che per quanto riguarda le circostanze del loro moto, ad essi compete un posto speciale.

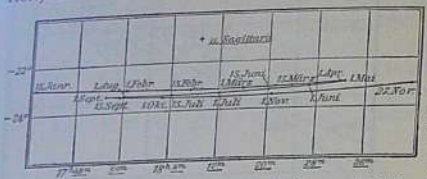


Fig. 259. — Movimento apparente di Giove nel 1889.

È interessante ancora l'avvertire che il movimento medio dei pianeti intorno al cielo così procede: è massimo in Mercurio, e poi va diminuendo col seguente ordine, Venere, Marte, piccoli pianeti, Giove, Saturno, Urano, Nettuno, cioè in quell'ordine medesimo che noi dovemmo secondo ogni probabilità disporli per le distanze, dopo le discussioni della Parte Prima. In favore di questo modo di vedere parla anche la circostanza che i nodi dei pianeti divengono nella stessa disposizione sempre più stretti; così acquista forza l'opinione, che si tratti di movimenti originariamente simili, ma visti da distanze ognor crescenti. Per Nettuno, il pianeta più lontano, tutto il movimento retrogrado ammonta appena a 12^m in ascensione retta, e da un'opposizione alla successiva il pianeta si muove in avanti soltanto di 10^m.

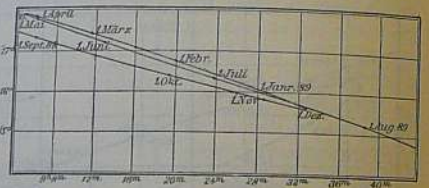


Fig. 260. — Movimento apparente di Saturno nel 1889.

9. — Le idee cosmogoniche prima di Newton.

Dopo d'aver così studiato nei loro tratti principali i movimenti del Sole e della Luna e degli altri astri erranti in Cielo, è oramai tempo di considerare la dipendenza di causa, che si appalesa in essi anche all'osservazione superficiale. Noi

seguiremo, in ciò fare, in complesso la via tenuta dall'umanità stessa nell'acquisto di tali verità, e ciò non solamente per il grande interessamento che desta in noi lo sviluppo storico delle opinioni sulla costituzione dell'Universo, ma anche perchè a questo modo potremo superare più facilmente le difficoltà che oppone al principiante la prima esposizione delle grandi verità della meccanica celeste.

Le prime opinioni sulla costituzione dell'universo, si appigliarono naturalmente all'immediata apparenza. Per i Greci, astraendo da alcune teste illuminate, l'Universo era identico colla Terra, che veniva riguardata come un gran disco galleggiante sull'Oceano interminato. Sopra la Terra s'incurvava una mezza sfera cristallina, nella quale erano infisse le stelle; Apollo guidava i suoi cavalli del Sole, emergendo dall'Oceano e lanciandosi sulla vôlta celeste, per tuffarsi di nuovo alla sera nelle onde del mare. Di notte tempo egli nuotava coi suoi cavalli sull'Oceano attorno a metà del disco terrestre, per sorgere poi di nuovo ad Oriente.

Noi sappiamo, come si dovette più tardi modificare questa opinione, quando si fecero i primi passi verso una misura della Terra, col che si riconobbe che la Terra non poteva essere un disco, come si credeva da principio, ma fosse di figura cilindrica. Anassimandro, uno scuolaro di Talete, insegnava questo concetto del mondo intorno al 550 a. C. A chi ben rifletta, il passaggio dalla forma di disco della Terra a quella cilindrica deve parere, quale fu, rivoluzionario, e quindi ben appropriato a porgere allo spirito umano una sosta per considerare le grandiose conseguenze che ne derivavano, prima che fosse giunto il momento di fare un altro passo innanzi. Mentre fino allora vi era un sopra ed un sotto incondizionati, d'allora in poi la Terra era sospesa liberamente nello spazio; era lanciata l'idea degli antipodi, un concetto che oggi ancora presenta delle difficoltà. Sotto il nostro orizzonte s'incurvava una vôlta emisferica, come quella che ci sovrasta. la Terra apparve come se fosse racchiusa in una sfera cristallina, che era come una divisione fra l'accessibile all'uomo e l'infinito, il divino. Sotto l'orizzonte evidentemente quella semisfera aveva ancora un altro polo celeste, e fra i due correva l'asse del mondo, sul quale era, in certo qual modo, infilato nel mezzo il cilindro terrestre. A dire il vero si riteneva che l'asse del mondo fosse assicurato alla vôlta del Cielo a mezzo di vincoli materiali, giacchè allora non era concepibile l'idea di un corpo sospeso liberamente nello spazio.

La prosecuzione dei primitivi lavori per la misura della Terra ed altre considerazioni, alle quali aveva dato appiglio la forma sempre uguale dell'ombra terrestre nelle eclissi solari, avevano sempre più rinforzata la persuasione, che la Terra fosse arrotondata da tutte le parti, vale a dire che avesse la forma sferica. Anche dall'aspetto dei due corpi celesti, Sole e Luna, apparentemente massimi, poteva acquistarsi questo convincimento, e sulla loro vera grandezza si erano già acquistate tante nozioni quante bastavano per doverli riguardare come in certo qual modo di eguale origine della Terra. Si doveva perciò badare di tener saldamente quanto era necessario, corpi così enormi, circolanti in rapida rivoluzione sopra le nostre teste attorno alla Terra; a ciò non bastava più la sfera delle stelle fisse, giacchè nel frattempo si era riconosciuto il movimento indipendente dei corpi celesti che la popolano. Perciò coll'immaginazione si costrusse una nuova sfera per il Sole e per la Luna rispettivamente, sfere che erano minori di quella delle stelle fisse, ad essa concentriche e come quella portate dall'asse del mondo, di

guisa che ciascuna, pur partecipando al movimento, che si compie giornalmente una volta, della sfera delle stelle fisse, fosse capace di per sè di un movimento suo proprio. A queste s'aggiunsero ben presto cinque altre sfere, una per ciascuno dei grandi pianeti.

Questo nuovo modo di concepire il mondo col sistema delle sfere, ci conduce sopra un altro gradino dello sviluppo storico che corre parallelamente a quello logico, a circa un secolo e mezzo oltre le ingenue idee di Anassimandro. Il concetto delle sfere fu insegnato primieramente con tutta chiarezza da Eudosso, come dal suo contemporaneo ed amico Platone nella sua " Republica „; però è certo che già Pitagora od almeno i suoi scuolari vi avevano pensato.

Da questa idea delle sfere derivò, come è noto, quella della musica delle sfere, paragonando ciascuna delle sette sfere dei pianeti colle sette note dell'ottava; la sfera che completava il numero otto, l'ottava più alta, era rappresentata dal *primum mobile*, la sfera delle stelle fisse. Si era convinti che la rotazione di quelle grandiose sfere cave, alle quali erano affissi corpi così grandi quali il Sole e la Luna, dovevano, al pari delle ruote dei congegni meccanici giranti rapidamente, produrre un suono, e che il risuonare concorde delle varie note così prodotte (giacchè si andava talvolta fra loro ordinando a piacimento i singoli movimenti dei pianeti come la terza e la quarta) doveva generare una meravigliosa armonia, che si spandeva potente per l'universo. Si riteneva poi, che i poveri mortali nati dalla Terra, non potevano udire questa musica celeste che era la delizia eterna degli olimpici. I Pitagorici, che eccitati dalle meravigliose scoperte dei semplici rapporti numerici tra le lunghezze delle corde vibranti armonicamente e risuonanti concordemente, credevano di celare sotto tali rapporti numerici tutto il segreto della disposizione dell'Universo, avevano ad un tempo dato un particolare e durevole impulso alla più precisa osservazione dei movimenti dei corpi celesti. E per fermo, questa musica dei numeri, spesso derisa, che seppe penetrare con strane fanciullaggini in tutti i rami delle scienze naturali, e che dominò fino in pieno medio evo l'indagine filosofica della natura, portava in sè il germe, al quale noi dobbiamo la fioritura e lo sviluppo delle nostre moderne investigazioni esatte della natura, e non soltanto nel campo dell'astronomia. Nell'armonia delle sfere dei mondi si celava con ingenuità e fanciullezza il presentimento, al quale nella contemplazione della natura soccorreva ancora poco l'esperienza, del pensiero grandioso dell'unità delle forze naturali che governano il mondo, che in noi ingrandisce e promuove sempre più ogni nuova scoperta nell'esteso dominio della natura, e che tutto lo studio della natura medesima ai tempi nostri conferma e completa.

Quando poi si pervenne a quella più ampia conoscenza dei movimenti dei corpi celesti, che noi abbiamo già esposto, si dovette poco per volta venir corrispondentemente completando il congegno delle sfere dell'Universo. Ora poichè nella concezione dell'Universo quale la intendevano i più antichi filosofi della Grecia, vigeva indiscutibile ed inconcusso il concetto, che la Terra fosse il corpo principale dell'Universo, al cui servizio stessero tutte le sfere celesti, e situato esattamente al centro del mondo, così tutte le numerose complicazioni, che ci sono note sotto forma di movimento a nodi o formazione di cappi, potevano soltanto venir spiegate a mezzo di nuove sfere, le quali colla mutua loro azione agivano assieme sopra il medesimo corpo celeste. Secondo questo principio e nell'ipotesi

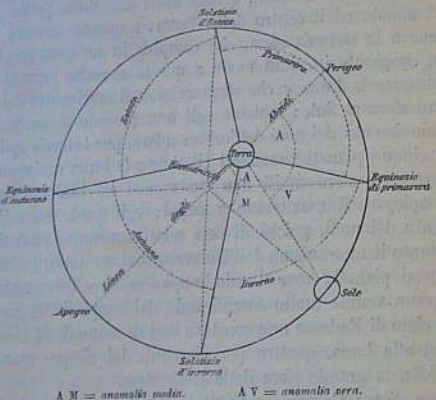
allora del pari tenuta come inviolabile, che i movimenti delle sfere anche nella costituzione armonica dell'Universo intiero dovevano procedere con velocità uniformi, Eudosso, l'acuto amico di Platone, che viveva nella prima metà del quarto secolo a. C., aveva costrutto un sistema del mondo, che fu in vigore per molto tempo presso i Greci.

Eudosso pensava che alla produzione del movimento della Luna concorressero tre sfere l'una avvolgente l'altra, ciascuna delle quali effettuava uno dei tre movimenti speciali della Luna fino allora conosciuti, e così che l'asse della prima sfera passasse per i poli del mondo ed il centro della Terra; a questa sfera era poi fissato un asse che sosteneva la seconda sfera, che compiva in un mese una rotazione; e che finalmente, congiunta in simil modo a questa seconda, fosse la terza sfera, che portava realmente la Luna e che dava origine al movimento dei nodi. Eudosso diede pure tre sfere al Sole; sebbene egli non possedesse ancora alcuna osservazione di un movimento dei nodi dell'orbita solare, pur tuttavia egli lo congetturò. Per gli altri cinque pianeti rimanenti (il Sole e la Luna venivano allora riguardati quali pianeti), tre sfere simili non bastavano; ad Eudosso ne occorrevano altre due, per spiegare il movimento a cappi; egli però tralasciò qui la sfera per il movimento dei nodi, poichè di esso, relativamente ai pianeti, nulla si sapeva allora. Pertanto il meccanismo dell'Universo contava quattro sfere speciali per ciascuno di questi pianeti; come si vede le opinioni circa il congegno meccanico del mondo, si erano venute molto complicando dai tempi di Pitagora, vale a dire da 200 anni. Il cielo di Eudosso non constava così di meno di 27 sfere, tre per ciascuno al Sole ed alla Luna, quattro per ciascuno dei cinque grandi pianeti, ed il *primum mobile*, la grande sfera delle stelle fisse.

Al sagace Eudosso tenne dietro Calippo, costruttore di sistemi cosmogonici meno abile di lui, che piuttosto arbitrariamente aggiunse ancora 22 nuove sfere. A questo modo coll'andare del tempo, la macchina celeste era divenuta complicatissima, così che per ultimo apparve urgente e necessaria una spiegazione del mondo che fosse più semplice e chiara.

Il principio del movimento uniforme in circoli, che era ammesso da tutte le vecchie teorie del mondo fino a Copernico, ricevette il primo e forte colpo dalla scoperta fatta da Ipparco della disuguaglianza delle stagioni dell'anno. Ipparco fu quegli che diede al Sole un perigeo ed un apogeo e stabilì, che esso si muove più rapidamente quando è vicino al primo di quando è vicino al secondo. Ma l'assioma del movimento perfettamente regolare dei corpi celesti s'era incarnato troppo nel pensiero generale, perchè Ipparco potesse, in base alle sue scoperte, decidersi a pensare di abbandonare questo assioma. Per spiegare quei fatti, si presentavano a lui ancora altre vie, che potevano condurre allo scopo, nello stato almeno delle cognizioni di quei tempi. Se invece di attribuire al Sole un movimento circolare e perfettamente uniforme, lo si fa muovere attorno ad un centro che non coincide col centro della Terra, ma si trova fuori di esso in un punto qualunque dello spazio libero, allora i movimenti del Sole ci appaiono realmente di velocità differente, e precisamente più rapidi, quando esso si muove lungo quella porzione del circolo che è più prossima alla Terra, e più lenti nella porzione opposta. Il disegno della figura 261 dimostra ciò: il centro del movimento del Sole si trova in esso al punto d'incontro delle linee a tratti, mentre in quello

della Terra s'incontrano le linee continue. A mezzo di tentativi venne fatto di trovare la posizione di un punto, veduto dal quale, il movimento del Sole pur supposto circolare ed uniforme, dava a divedere tutte le particolarità constatate in esso dall'osservazione. La linea che congiungeva il perigeo e l'apogeo che a quel modo erano stati formati, si chiamò, fin dai tempi d'Ipparco, linea degli absidi; e la distanza fra i centri dell'orbita solare e della Terra misurati su quella linea, ed espressa in parti del diametro dell'orbita, fu detta l'eccentricità di questa; e finalmente la distanza angolare del Sole dal perigeo, per un dato istante fu chiamata l'anomalia vera; mentre si denominò anomalia media la distanza angolare del Sole dal centro del suo movimento circolare.



A M = anomalia media. A V = anomalia vera.

Fig. 261. — Spiegazione del movimento vario del Sole, secondo Ipparco.

Quando Ipparco con quei suoi concepimenti rimosse la Terra dal centro del moto, egli non immaginava affatto di quale importanza fondamentale era quel pensiero, col quale egli aveva fatto il primo passo verso la soppressione dell'antico dogma della posizione della Terra dominante nel centro dell'Universo. Dalla sua persuasione risultava che la forza che trascina i corpi celesti in rivoluzione grandiosa intorno al Cielo non emanava più dal corpo della Terra. Difficilmente si sarebbe poi potuto escogitare un meccanismo, in qualche modo analogo a quello delle sfere di Eudosso, collegato con assi solidi alla Terra ferma, e che fosse regolato da questa, dopochè, come aveva fatto Ipparco, il centro del suo movimento era stato collocato in un punto qualunque dello spazio vuoto, cioè in un punto che non era per nulla collegato colla Terra, il centro supposto del mondo. Ben presto il centro dell'orbita lunare venne da Ipparco portato fuori della Terra, anche per quell'astro egli diede il perigeo, l'apogeo, l'eccentricità, la linea degli absidi. Per ultimo Ipparco riconobbe anche che la linea degli absidi della Luna, è soggetta ad un movimento diretto, all'opposto della linea dei nodi che si muove in senso retrogrado; Ipparco determinò entrambi i movimenti con una precisione veramente meravigliosa per i suoi tempi, così che il suo sistema del mondo almeno per questo rispetto s'adattava nel modo il più completo alle cognizioni dell'epoca sua: cioè spiegava le apparenze. Così ad esempio a mezzo dei numeri tramandatici da Ipparco si potrebbe predire il verificarsi di una Luna piena, per un'epoca del tempo presente, cioè dopo che son trascorsi 2000 anni, coll'approssimazione di un giorno. Il grande astronomo di Alessandria, cominciò anche ad investigare i

movimenti dei pianeti, molto più difficili a studiarsi; ma era riservato al suo compatriota e successore Tolomeo, di fare in questa direzione un notevole passo avanti.

Il sistema del mondo di Tolomeo, che signoreggiò senza contrasti, fino alla venuta di Copernico, vale a dire durante un migliaio e mezzo d'anni, fu costrutto sulle osservazioni e sui calcoli di Ipparco. Tolomeo espose il suo sistema nel suo famoso *Almagesto*, opera che fin circa al cadere del medio evo fu venerata quasi come una rivelazione divina, così che riguardavasi pressochè come un delitto il dubitare delle sue proposizioni.

Fig. 262. — Meccanismo di movimento cogli epicicli, secondo Tolomeo.

Tolomeo mantenne invariato il circolo eccentrico di Ipparco, ma non fece correre i cinque pianeti propriamente detti (eccettuando quindi il Sole e la Luna) direttamente sulle circonferenze di questi cerchi, ma fece muovere sopra ciascuna il centro di un altro cerchio, sul quale poi si muoveva realmente il pianeta. Cerchiamo di spiegare questo meccanismo a mezzo di una costruzione facilmente intelligibile. Si fissi al centro della Terra una stanga relativamente breve e lunga quanto l'eccentricità dell'orbita d'Ipparco relativa al corpo celeste che si considera. Evidentemente questa stanga congiunge il centro della Terra col centro dell'orbita circolare; essa giace esattamente nella direzione della linea degli absidi e forma una parte di essa. All'estremo esterno di questa stanga si fissi il razzo di una immensa ruota che corrisponde all'orbita del corpo celeste secondo Ipparco. Se ora sulla circonferenza di questa ruota si considera in modo speciale un dato punto, che si suppone rappresentare il pianeta, e si fa poi girare la ruota attorno al punto esterno della stanga, allora quel punto compie un movimento, quale quello supposto da Ipparco per il Sole e per la Luna; una rotazione lenta e contemporanea della stanga, assieme alla immensa ruota attorno al centro della Terra, rappresenta il movimento della linea degli absidi. Il perfezionamento introdotto da Tolomeo per i cinque pianeti, fu quello di collocare sulla periferia della gran ruota il centro di un'altra ruota minore, di guisa che questo centro venisse portato in giro dalla ruota maggiore, come prima il pianeta stesso; questo poi, si muoveva sulla periferia del circolo minore. Il circolo maggiore fu, da Tolomeo, chiamato *deferente*, il minore *epiciclo*,

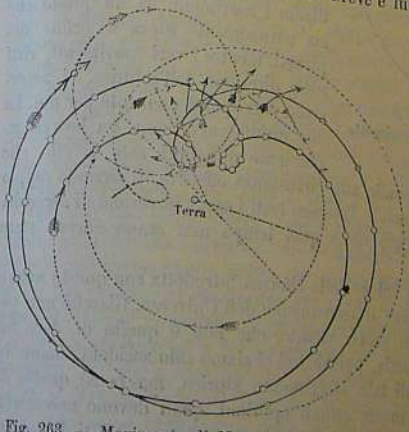


Fig. 263. — Movimento di Marte, secondo Tolomeo.

e da questo tutta la forma del movimento si chiamò *epiciclica*. La figura 262 rappresenta il meccanismo di questo movimento, nella forma della costruzione ausiliaria da noi assunta a scopo di chiarezza. Nella figura 263 abbiamo riprodotto esattamente secondo i dati numerici dell'Almagesto il movimento del pianeta Marte intorno alla Terra nel sistema degli epicicli di Tolomeo, come abbiamo anche riprodotto il vero movimento di Marte, quale esso si verificò, per quanto noi potemmo meglio constatare negli anni 1888-90, però in guisa che la Terra è riguardata come ferma. Il confronto dei due disegni mostra quanto simili siano fra loro le due curve, e quindi come Tolomeo abbia già potuto ricavare esattamente dalla sua teoria, il rapporto della distanza reciproca variabile dei due pianeti, Terra e Marte. Il nostro secondo disegno è così delineato, che da esso si possono ricavare quelle vere distanze quali furono realmente. Gioverà avvertire che non deve destar meraviglia che quei cappi abbiano forma ben diversa da quella dei reali visti dalla Terra, che sono rappresentati nelle figure 256 a 260, giacchè nella figura 264 noi vediamo i movimenti da un punto che sta normalmente sopra le orbite dei pianeti, mentre i veri movimenti, visti nella direzione dell'eclittica, si accorciano corrispondentemente per noi. Le due ultime curve sono fra loro essenzialmente differenti solo in ciò, che nella seconda, quella che corrisponde alle circostanze effettive, il secondo cappio è più stretto del primo, mentre secondo Tolomeo tutti i cappi dovevano di necessità essere uguali. Però tali disuguaglianze a quel tempo non erano ancora state osservate.

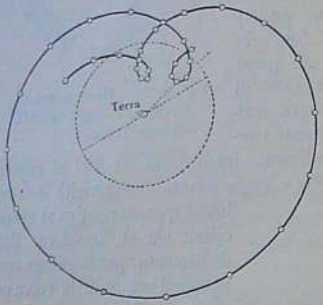


Fig. 264. — Moto effettivo di Marte rispetto alla Terra supposta ferma.

Noi dobbiamo ora saggiare il valore della riforma introdotta con questo nuovo indirizzo del modo di comprendere il meccanismo dell'Universo. Giacchè non vogliamo perdere di vista il nostro scopo attuale, che non è quello di dare un riassunto dell'istoria dell'astronomia, poichè noi ci siamo solo accidentalmente in apparenza, permesso un cenno di tale svolgimento storico, ma bensì quello di dare l'esposizione naturale delle nostre attuali opinioni, quali devono necessariamente formarsi, quando noi veniamo di continuo desumendo nuovi fatti dall'osservazione, per i quali dobbiamo quindi venire del pari modificando quei concetti.

Dapprima vedemmo, che Tolomeo conservò i circoli eccentrici di Ipparco, e quindi nelle dottrine astronomiche non poteva andar perduto un anello, che era andato più vicino alla verità. Quello che Tolomeo fece, introducendo i circoli epicicli, appare a primo aspetto quasi come un allontanamento dalla verità. Questo congegno complicato di due ruote, l'asse di rotazione di una delle quali è portato in giro sulla circonferenza dell'altro, ci sembra a vero dire molto strano; senza che a mezzo di esso, venga, come si può facilmente intendere, data una qualsiasi spiegazione sufficiente dell'origine dei movimenti: il pensare a questa,

sembrava allora fatica sprecata, giacchè pareva del tutto impossibile che si potesse mai giungere a comprenderla. Quindi in ciò non sta il merito di Tolomeo. Esso consiste principalmente in questo che egli si liberò definitivamente dall'opinione delle sfere, almeno per quanto concerne i pianeti il Sole e la Luna; giacchè quei circoli epicicli erano affatto inconciliabili colle sfere solide trasparenti, alle quali secondo Eudosso ed i filosofi antichi dovevano essere appiccicati i corpi celesti, essendo necessario che gli epicicli fossero ora notevolmente innanzi, ora notevolmente indietro alle sfere corrispondenti. Tolomeo infranse tutte queste sfere dei pianeti, e lasciò sussistere soltanto l'ultima, la massima, che al limite dell'universo portava la schiera di pianeti, il cui movimento sembrava anche al più attento osservatore, compiersi secondo un circolo esatto attorno al centro della Terra.

Tolomeo fu quegli altresì, che osò pensare pel primo ad un moto libero dei corpi celesti nello spazio; egli infranse le viete forme solide ed aprì con ciò alla libera speculazione un più vasto orizzonte, da punti di vista fondamentali. Un altro grande vantaggio del sistema tolemaico, stava nella sua completa malleabilità, che permetteva di accogliere in esso tutti i fatti nuovi rivelati dall'osservazione, col solo variare o l'eccentricità, od il raggio dei deferenti o la grandezza dell'epiciclo, a seconda dei dati forniti dall'esperienza. Neppure l'inclinazione delle orbite dei pianeti rispetto all'eclittica, che venne ben presto scoperta, oppose veruna difficoltà al sistema; bastava il dare od all'epiciclo od al deferente l'inclinazione corrispondente, per mettere d'accordo colla teoria, la deviazione osservata. Si sarebbe potuto costrurre un movimento ingegnosissimo d'orologieria basato su quei concetti tolemaici, che, a malgrado del movimento perfettamente uniforme delle sue ruote, pure riproducesse esattamente il movimento apparentemente non uniforme ed a cappi. Il sistema raggiungeva quindi completamente il suo scopo; esso era il migliore che si potesse escogitare per il livello intellettuale di quell'epoca, e doveva bastare per molti secoli a venire.

Quindi si può comprendere come il sistema tolemaico abbia sopravvissuto alla caduta della famosa università di Alessandria, e come trasportato dall'Egitto a Bagdad, dal conquistatore arabo che voleva imporre al mondo colla spada la religione del profeta, vi sia fiorito, per opera di quel conquistatore stesso che ben presto si civilizzò al contatto di quella coltura ellenica decadente da lui soggiogata, e s'accinse a studiare ed a far progredire con mirabile attitudine e slancio l'opera magnifica che aveva seco portata. Come tratto caratteristico è narrato il fatto del califfo Al Mamum nato nel 786, che al vinto imperatore greco Michele II impose come condizione preliminare della conclusione della pace la consegna di tutti i manoscritti greci da lui posseduti, per poterli far tradurre. Fra essi si trovò anche l'opera grandiosa di Tolomeo, tante volte menzionata, che allora portava il nome di Sintassi, ma che fu più tardi chiamata *Magna Constructio*, e che a noi pervenne col titolo arabo di *Almagesto*, nel testo arabo procurato da quel califfo.

Gli Arabi portarono nei paesi da loro conquistati la civiltà ricevuta dai Greci, e specialmente in Spagna, ove alla corte di Toledo, i nobili sovrani si diedero ben tosto a coltivare le scienze astronomiche. Colà s'interessò anche allo studio degli astri l'infelice Alfonso X di Castiglia (1223-84) e fece con insolita larghezza

calcolare le tavole da lui dette Alfonsine dei movimenti dei pianeti, che ammettendo il sistema tolemaico come loro fondamento, permettevano di determinare preventivamente le posizioni di tutti i corpi celesti, per qualsiasi istante scelto a volontà.

Ma per l'accumularsi delle osservazioni e dei calcoli di tanti diligenti astronomi, la macchina celeste si era nel frattempo venuta insolitamente complicando per la sovrapposizione di sempre nuovi epicicli, che dovevano servire a rendere conto delle disuguaglianze del movimento che si venivano man mano scoprendo. Re Alfonso, quando i dotti astronomi, compiute le tavole gli spiegavano quel sistema, con un dispetto che si comprende, si lasciò sfuggire le parole per lui fatali: "Se nel creare il mondo, Iddio mi avesse chiesto consiglio, io gli avrei raccomandato una maggiore semplicità „; essendosi sollevata contro di lui una rivolta, quelle parole inconsiderate furono messe a profitto dai nemici del savio re per accusarlo di aver bestemmiato il nome di Dio: così questo primo reale scettico del sistema tolemaico, dovette, in compenso della sua giusta critica, scendere dal trono dei suoi padri e morire in esiglio a Siviglia, abbandonato da tutti i suoi fedeli.

Mentre noi, procedendo innanzi, dobbiamo discorrere delle teorie di Copernico e più tardi di quelle di Keplero, non possiamo in modo alcuno pretendere per queste una posizione più elevata; i loro sistemi avevano soltanto per sè un certo qual peso maggiore di probabilità. Anche la via, tenuta da questi pensatori, poteva da essi venir percorsa solo a tastone, senza infondere la persuasione completa, che essa dovesse realmente mettere capo alla verità.

Ritorniamo ora a Tolomeo. Nella tabella seguente sono dati i numeri che il dotto alessandrino assegnava ai movimenti dei pianeti sui loro epicicli ed agli epicicli stessi sui loro deferenti.

Pianeta	Movimento sull'epiciclo in un giorno	Movimento diurno del centro dell'epiciclo sul deferente	Somma
Sole	0° 0′ 0,0″	0° 59′ 8,3″	0° 59′ 8,3″
Mercurio	3 6 21,4	0 59 8,3	4 5 32,4
Venere	0 36 59,4	0 59 8,3	1 36 7,7
Marte	0 27 41,7	0 31 26,6	0 59 8,3
Giove	0 54 9,0	0 4 59,3	0 59 8,3
Saturno	0 57 7,7	0 2 0,6	0 59 8,3

Da questo quadro appare il notevole fatto, che il movimento del centro dell'epiciclo per Mercurio e Venere ha velocità quasi esattamente eguale a quella del Sole intorno alla Terra. Poi si riscontra un limite al di là del quale i numeri divengono differenti; ma però in guisa che la somma dei due movimenti, cioè di quelli dell'epiciclo e del deferente, dànno di nuovo esattamente questo medesimo movimento del Sole. Il movimento del Sole è quindi sempre contenuto nei movimenti dei pianeti, e questa concordanza dovette realmente apparire molto strana. Essa proponeva spontaneamente la questione se quei sei valori numerici esatta-

mente eguali, che rappresentano i fenomeni del movimento, non avessero loro ragione in una causa comune.

Non si può dubitare, che nel migliaio e mezzo d'anni, trascorsi da Tolomeo a Copernico, molti pensatori non si siano fatta questa domanda, sebbene di ciò, per quanto ci consta, non narrino le istorie. Che questi pensatori incogniti non ci abbiano tramandato per iscritto tali opinioni, appare certo già dallo sgomento che doveva sorprenderli all'enormità della sola spiegazione possibile, che cioè la Terra si muovesse liberamente nello spazio. Questa Terra coi suoi estesi continenti e sterminati oceani, coi suoi milioni e milioni di creature viventi, questa Terra che è il sostegno saldo della vita, il centro immutabile, fino a quel giorno, del mondo, il campo di quell'ordine naturale di cose così mirabilmente ordinato, questa Terra doveva muoversi attraverso allo spazio! Se per caso quest'idea balenò pur qualche volta, essa dovette venir subito abbandonata come assurda, da spiriti che non erano dotati di una forza insolita di persuasione. Era pur sempre possibile il rappresentare alla mente un congegno d'orologieria trasmettitore, per mezzo del quale il movimento del Sole venisse comunicato direttamente agli epicicli dei pianeti.

Quindi dobbiamo tanto più ammirare la forza d'intelletto e l'ardimento di convinzione di un Copernico, poichè egli osò afferrare questi arditi concetti e svolgerli scientificamente con energia meravigliosa. Questo merito imperituro (non certo quello di aver per il primo avuto quell'idea) procacciò al canonico di Frauenburg un alloro, che rimarrà sempre verde.

Giacchè non dobbiamo scordare che già parecchi secoli prima di Tolomeo, due pensatori greci avevano espresso la loro salda convinzione intorno alla posizione centrale del Sole: Platone ed Aristarco. Plutarco così scrive di Aristarco e delle sue opinioni: che egli " non aveva più lasciato la Terra nel centro del tutto, ma aveva assegnato quel posto ad un astro migliore „. Ed Archimede parla di Aristarco letteralmente come segue: " Secondo la sua opinione il mondo è molto più grande di quanto fu detto pur ora; poi egli presuppone che le stelle ed il Sole siano immobili, e che la Terra si muove attorno al Sole come centro, e che la sfera delle stelle fisse, il cui centro del pari sta nel Sole, sia così vasta che la circonferenza del cerchio descritto dalla Terra stia alla distanza delle stelle fisse, come il centro di una sfera alla sua superficie „. Da quest'ultimo paragone appare manifesto, che Aristarco riguardava la distanza delle stelle fisse come infinitamente grande rispetto alla distanza del Sole da noi. Il suo concetto del mondo corrispondeva quindi in tutti i tratti essenziali pienamente al nostro. Ma quel concetto era allora immaturo, perchè precedeva lo sviluppo del suo tempo; esso non trovò alcun terreno preparato alla sua esistenza, e doveva perciò necessariamente di nuovo tramontare.

Per questo riguardo è caratteristico, che Aristarco al pari dei venturi più strenui sostenitori delle dottrine copernicane, come principalmente Galilei, vengono accusati di eresia e di bestemmia contro Dio a cagione di questa dottrina perturbatrice. Plutarco, in uno dei suoi discorsi dice: Carissimo, non involgici in alcun processo per miscredenza, come una volta credeva Cleanto, che tutta la Grecia dovesse tradurre innanzi al giudice Aristarco da Samo come denigratore della religione, che spodesta il sacro focolare del mondo, poichè quell'uomo a

fine di chiarirci i movimenti celesti, fece che il Cielo rimanesse fermo, e per contro la Terra si muovesse lungo un cerchio obliquo, e ad un tempo ruotasse attorno al proprio asse „ (*a*).

Ma soltanto nella mente di Copernico, il convincimento del movimento del Sole attorno alla Terra era divenuto abbastanza saldo, da poterne dedurre delle conseguenze e sostenerle. Con questa teoria divennero inutili tutti gli epicicli. Facendo che la Terra si muova cogli altri pianeti attorno al Sole come centro, tutti i movimenti osservati si possono spiegare egualmente bene quanto nel sistema tolemaico, ed il rapporto dei movimenti epicicliei dei pianeti a quello del Sole era ricondotto alla causa comune, cioè al nostro proprio movimento nello spazio. Che in realtà, anche in questa nuova supposizione, i risvolti osservati si producano quasi esattamente come nel sistema tolemaico, appare dalla figura 266. In essa sono tracciate le orbite della Terra e di Marte secondo le dimensioni, datene da Copernico, inoltre sono segnate sui due cerchi le posizioni della Terra e di Marte, e così che le posizioni contemporanee dei due pianeti sono indicate cogli stessi numeri da 0 a 16. Questi punti furono ogni volta congiunti mediante linee rette. Se ora noi facciamo girare queste rette attorno ad un punto fisso, in guisa che la loro direzione e lunghezza si mantenga quale è nella figura, allora congiungendo con una linea la nuova serie di punti, si otterrà una nuova forma di spira che sarà eguale a quella disegnata nella figura 263 corrispondente al movimento di Marte secondo Tolomeo. La teoria della rotazione della Terra attorno all'asse agì anche in modo essenzialmente semplificante, giacchè con essa venne riportata ad una causa comune la rotazione diurna dell'immane sfera celeste, la quale doveva a mezzo di uno sconosciuto meccanismo di trasmissione trascinar seco simultaneamente tutti i pianeti. Nessuna teoria del mondo, che ammettesse la Terra sferica, poteva porre in dubbio che la Terra fosse in estensione molto inferiore alla sfera delle stelle fisse, e perciò era anche preventivamente più probabile, che fosse la Terra che ruotasse sopra se stessa in un giorno e non il Cielo stellato con tutti i suoi pianeti.

Ma nè anche Copernico potè liberarsi dagli altri concetti fondamentali del sistema tolemaico. Appunto perchè egli ignorava la vera cagione di tutti questi movimenti, così non gli rimase altro a fare che il presupporre un meccanismo di trasmissione del movimento, analogo ad un congegno di orologieria, avendo soltanto da considerare circoli perfetti. Malgrado l'arditezza degli altri suoi concetti, Copernico non osò attaccare il concetto aristotelico di un movimento uniforme lungo circoli. Egli mantenne i circoli eccentrici, deferenti di Ipparco, e stabilì nuovi epicicli, che però avevano una tutt'altra importanza e significato di quelli

(*a*) [Sulla storia dei sistemi del mondo presso gli antichi sono di capitale importanza i seguenti lavori dell'illustre astronomo Giovanni Schiaparelli, direttore dell'Osservatorio di Brera in Milano:

I precursori di Copernico nell'antichità, nelle *Memorie dell'Istituto Lombardo di scienze e lettere*. Milano 1873.

Le sfere omocentriche di Eudosso, di Callippo e di Aristotile, nelle *Memorie dell'Istituto Lombardo*. Milano 1875.

Origine del sistema planetario eliocentrico presso i Greci, nelle *Memorie dell'Istituto Lombardo*. Milano 1898.

(O. Z. B.)].

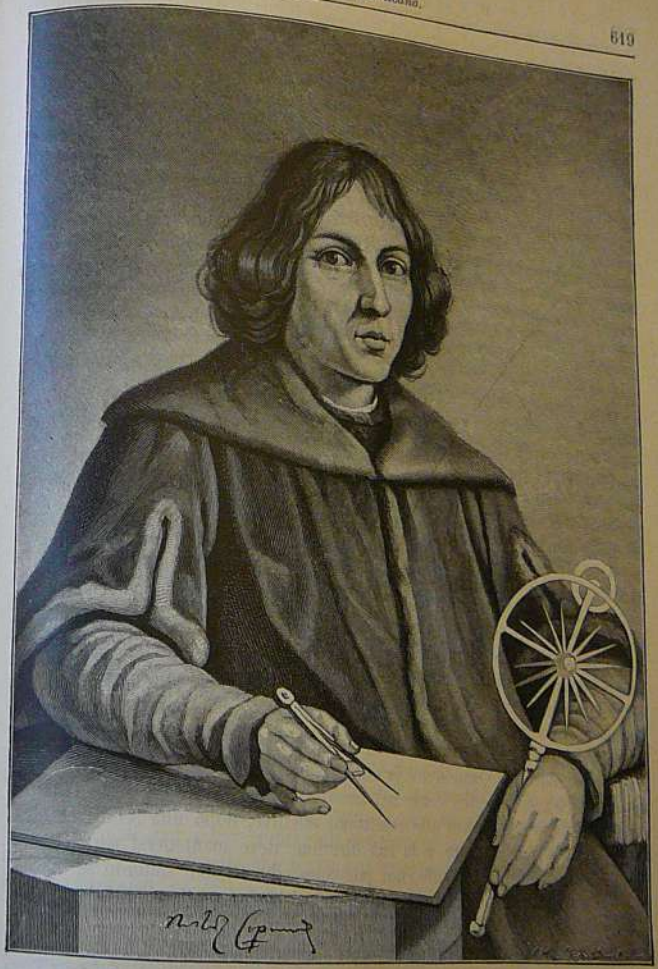


Fig. 265. — Nicolò Copernico, nato il 19 febbraio 1473 in Thorn, morto il 24 maggio 1543 in Frauenburg. Da un ritratto contemporaneo.

di Tolomeo. Mentre questi ultimi rappresentavano soltanto l'immagine prospettica del nostro proprio movimento nello spazio, quegli epicicli più ristretti d'assai di Copernico dovevano spiegare una seconda disuguaglianza del movimento ancora

residua, che era nel frattempo stata scoperta dalle osservazioni, e che non si poteva riprodurre teoricamente a mezzo dei circoli eccentricamente disposti.

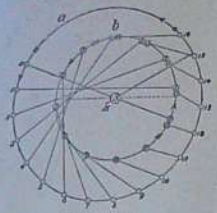


Fig. 266. — Movimento di Marte e della Terra, secondo Copernico.

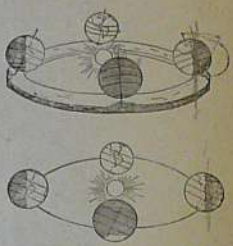


Fig. 267. — Movimento dell'asse terrestre, secondo Copernico, e sua posizione effettiva.

Dalle difficoltà che a lui oppose la posizione dell'asse terrestre che rimane sempre la stessa, appare quanto Copernico fosse ancora avviluppato in questi vieti concetti dei circoli giranti e delle sfere. Finchè la Terra rimaneva ancora fissa nel centro dell'universo, anche quando la si faceva girare attorno ad un asse, si poteva non badare alla posizione di quest'asse rispetto alle stelle fisse. Ma ben altrimenti avveniva, non appena si faceva muovere la Terra attorno al Sole. Assumiamo ad esempio per orbita terrestre, un qualsiasi sostegno materiale, ad esempio una ruota solida; giacchè da Tolomeo fino a Copernico bisognava pure presupporre qualche cosa di simile, e disponiamo su di essa il globo terrestre in guisa che abbia il suo asse inclinato di un certo angolo sul piano della ruota, per modo che il globo sia piegato verso il centro (come nella figura 267); allora, quando la ruota col globo che porta abbia compiuto una mezza rotazione, il globo rimarrà ancora sempre inclinato verso il centro. Così secondo l'opinione di Copernico avrebbe dovuto avvenire per la Terra, col che doveva naturalmente rimanere senza spiegazione e causa quello che si osserva.

Ma la vicenda delle stagioni attesta in modo non dubbio che le condizioni reali sono ben diverse. Quando cioè in una data posizione l'inclinazione dell'estremo superiore dell'asse terrestre, come nel nostro esempio, è diretta verso l'interno, essa deve, per corrispondere alle condizioni effettive, dopo una semirivoluzione, essere diretta verso l'esterno, e la sua direzione deve mantenersi parallela a se stessa. Nel meccanismo descritto, noi possiamo ciò ottenere soltanto se fissiamo l'asse terrestre alla ruota, così che pur tenendosi attaccato alla ruota stessa, possa muoversi liberamente. Quindi dobbiamo ancora introdurre una forza misteriosa, che mantenga indipendentemente dalla ruota, l'asse nella direzione assunta la prima volta. Copernico perciò fu costretto ad introdurre oltre alla rotazione della Terra attorno al proprio asse ed alla rivoluzione attorno al Sole, un terzo movimento, cioè il movimento eseguito una volta all'anno dall'asse terrestre stesso, sulla superficie di un cono, il cui angolo d'apertura è uguale al doppio dell'obliquità dell'eclittica. Naturalmente la causa di questi tre movimenti rimase ignota a Copernico; giacchè non la si era fino ad allora mai cercata.

Noi scorgiamo pertanto che il sistema di Copernico rimase pur sempre molto complicato e poco chiaro, e che il grande astronomo, malgrado le idee rivoluzionarie da lui introdotte conservò molti grossi errori dell'antica teoria. Il suo spirito era così ripieno del concetto dominante, che la Terra non fosse il motore, il regolatore, ma un mobile obbediente ed un maggior centro di forza, che il suo spirito avvinto a quello, doveva ad esso arrestarsi. Era già un còmpito grandioso per la vita di un uomo, l'aver spinto lo spirito dell'investigazione umana dentro un campo così sterminatamente esteso. Fin'allora vi era una *sola Terra*, d'allora in poi ve ne furono cinque, nate dalla stessa origine; i rimanenti pianeti suoi compagni, e sovrapposto a tutte l'onnipossente Sole, che vedeva sparsi sulla volta celeste migliaia di suoi compagni. Altra volta si era già pensato tutto questo in una condizione almeno immaginaria per rispetto alla grandezza della Terra appena comprensibile altrimenti: ora nel concetto del mondo così straordinariamente esteso, la Terra con tutto ciò che vive e pensa sopra di essa, doveva a seconda del concetto del mondo cotanto ampliato ridursi ad una palla da giuoco, anzi ad un punto, il cui immane viaggio nello spazio intorno al Sole, condotto da potenze immani, non appare più che come il roteare di una trottola, che descrive, leggermente sibilando, delle curve sul suolo che la sostiene. Il procedere della ricerca doveva sostare almeno per un breve tempo, affinchè i più potenti fra gli spiriti potessero giungere ad afferrare questo grandioso concepimento dell'Universo.

Ma non era trascorso che poco più d'un secolo, quando uno spirito eminente come quello di Keplero, adottò la nuova dottrina e con vivace arte di esposizione la rimaneggiò nuovamente dalle fondamenta. Stando all'andamento normale dello sviluppo storico sarebbe stato possibile che tra Copernico e Keplero fosse trascorso un lasso di tempo non minore di quello interceduto tra Tolomeo e Copernico: noi possiamo quindi ritenerci molto venturati, che quell'eroe dello spirito abbia allargato il nostro orizzonte al di là dei limiti di questa zolla di Terra che ci porta, granello di sabbia perduto nella compagine dell'Universo, ed abbia permesso allo sguardo dell'uomo già prima di così breve portata, una veduta universale dell'ambito immenso dei sistemi di vie lattee di Soli, alle quali oggi possiamo spingerci col pensiero. Copernico ci ha procurata la possibilità di questo sguardo nell'Universo, ma egli si trovò troppo strettamente legato nel piccolo e complicato meccanismo degli epicicli tolemaici che aveva adottato. Allo spirito profeticamente illuminato di un Keplero queste ruote imbrogliate non bastavano; egli era troppo persuaso della grande unità dell'Universo, di una sola e generale causa prima di tutti i fenomeni, per poter credere all'esistenza di tante piccole cause inferiori dei movimenti, quali quelle che erano pur sempre rese necessarie dai nuovi epicicli di Copernico.

Il Sole, intorno al quale secondo il concetto di Keplero circolano in grandiosa rivoluzione tutti i pianeti, e nel quale risiedeva la forza, che governa con legame invisibile anche la nostra Terra ed il meschinello genere umano, quel Sole era per lui l'anima del mondo, la cui forza sopraterrestre produceva tutti questi imponenti fenomeni di movimento secondo leggi ancora ignote, ma che egli era convinto si potevano scoprire. Era d'altronde divenuto da lungo tempo improbabile, che i pianeti fossero connessi fra loro e col Sole da un qualsiasi congegno solido, del quale pure si sarebbe dovuto alla perfine rinvenire una qualche traccia.

La forza motrice doveva effondersi da un corpo agli altri, come la forza dell'anima, invisibilmente, e quest'anima motrice del mondo, non poteva risiedere altrove che in quel Sole, che dal suo trono, nel centro dell'Universo, nella divina maestà del suo incomparabile splendore tutto vivifica ed allieta.

Una tale unica forza, non poteva per necessità logica, manifestarsi che con leggi uniche. Keplero propose alla sua esistenza lo scopo di scoprire quelle leggi, e, più felice di ogni altro ricercatore, lo raggiunse. Keplero trovò le tre leggi fondamentali che regolano tutti i movimenti nello spazio sterminato del Cielo fino ai limiti estremi cui ci permettono di giungere i più penetranti dei nostri cannocchiali, e giunse al ritrovamento di queste leggi connettendo faticose combinazioni matematiche, per così dire a mezzo di un dono di divinazione speciale. Egli non ha potuto dimostrare che queste tre leggi, che impareremo ben presto a conoscere, stanno fra loro in intima necessaria dipendenza. Prima che sorgesse Newton, il sistema di Keplero non aveva perciò su quello di Copernico, logicamente e rigorosamente parlando, un maggior pregio, di quello che il sistema copernicano avesse sul tolemaico, giacchè esso con un'essenziale semplificazione del meccanismo, rappresentava le osservazioni soltanto un pochino meglio, di quanto fosse riuscito di fare alle teorie precedenti. Keplero immaginò il suo sistema per lo scopo medesimo di Tolomeo e Copernico; egli voleva mettere in buon accordo, per quanto era possibile, le osservazioni, con una determinata ipotesi, scelta ad arbitrio, sulla costituzione del sistema solare. Il fatto dell'aver scoperto tre leggi od ipotesi fondamentali che si completavano l'una coll'altra, e che la ventura teoria di Newton dimostrò poi essere le conseguenze necessarie e sole ammissibili, di un'unica legge più semplice e comprensiva, rimane senza uguali, e perciò Keplero può e deve essere proclamato il più venturato fra tutti gli scopritori.

È uno dei capitoli più interessanti dell'istoria dello sviluppo dello spirito umano il tener dietro al processo evolutivo col quale Keplero giunse alla sua grande scoperta. Il suo intelletto lucido ed immaginoso, penetrato dal convincimento della esistenza di un'anima mondiale che tutto avvince e collega, abbraccia con tutto il fervore il vecchio e bel concetto dell'armonia delle sfere, ed amplificando le opinioni idealistiche di Platone, ne fa argomento della sua prima opera *Mysterium cosmographicum*. Poi, illuminato del pari da un'ispirazione più elevata, s'avvia per un nuovo cammino, battendo il quale, distrugge da se stesso il faticosissimo lavoro di molti anni contenuto nel suo primo lavoro. È degno di attenzione speciale il fatto, che per ultimo, dopo aver portato nella struttura dell'Universo l'ordine definitivo, si decide pur ancora a pubblicare una seconda edizione del suo primo lavoro: e ciò fa per mostrare al mondo, come anche quei fallaci pensamenti, di uno spirito unico, contengano nel profondo i germi della verità e come dovessero germogliare da un'unica radice, l'incrollabile persuasione dell'unità della struttura dell'Universo.

Non ci è pur troppo concesso l'indugiarci in queste considerazioni storiche, giacchè ci è d'uopo l'addentrarci alquanto nella dimostrazione della verità di questi concetti. Ci sia permesso soltanto il rammentare, che Keplero, nel suo *Mysterium cosmographicum*, cercò di dimostrare, che è possibile di introdurre i cinque corpi geometrici regolari, negli intervalli compresi fra le sei sfere dei pianeti in guisa che ciascuno di questi corpi circondato ai suoi vertici esternamente da una data

sfera, venga toccato internamente sulle sue faccie dalla sfera immediatamente inferiore, cioè più vicina al Sole. Che ciò avvenisse ad un dipresso, fu mero caso, e di esso fatto si giovò Keplero non meno della conoscenza inesatta delle distanze dei pianeti posseduta a quei tempi. Questo accenno basta a provare, quanto Keplero fosse ancora ai suoi tempi dominato dalle idee pitagoriche sulle sfere e sui rapporti armonici dei numeri.

L'idea di Copernico tanto semplificante il meccanismo del mondo, aveva introdotto una nuova difficoltà nella rappresentazione dei movimenti, in quanto si fu costretti a considerare tutti quei movimenti, da un punto mobile esso stesso, mentre prima tutto veniva riferito al centro fermo della Terra. Quindi il primo e necessario còmpito che fu imposto al successore di Copernico, fu quello di trovare un'esatta rappresentazione geometrica, a mezzo della quale fosse possibile il riferire al centro generale, il Sole, tutti quei movimenti visti dalla Terra mobile, così che fosse possibile ad ogni momento il calcolare in qual direzione si vedrebbe nell'istante medesimo dal Sole, un pianeta la cui posizione fra le stelle fosse stata determinata dalla Terra. A primo aspetto sembra molto difficile che l'uomo avvinto a questa zolla mobile ed errante possa gettare attraverso al vuoto dello spazio e senza base un immane ponte spirituale tra la Terra ed il Sole. Noi vedremo, come invece si presenti in realtà semplicissima la soluzione di tale problema.

A questo scopo ci giova assai quella speciale posizione del pianeta che noi chiamiamo opposizione. Dalla Terra possiamo immediatamente e con tutta precisione osservare l'istante nel quale essa avviene. Come si sa la definizione dell'opposizione è la seguente: la posizione nella quale la longitudine sull'eclittica del pianeta diversifica di 180 gradi, ossia di una semicirconferenza da quella del Sole; in essa astraendo dalla piccola inclinazione dell'orbita del pianeta rispetto all'orbita apparente del Sole, la Terra ed il pianeta stanno manifestamente, l'uno dietro l'altro, in linea retta col Sole. Ciò non vuol dire altro, se non che il pianeta visto dal Sole, deve apparire lungo quella stessa direzione, nella quale noi lo vediamo dalla Terra, perchè le due direzioni giaciono sopra una medesima linea retta. In questo caso speciale, noi possiamo quindi facilmente trasportarci in ispirito sul Sole, e senza alcuna presupposizione sulla vera costituzione del sistema solare (e ciò è da notarsi) riconosciamo senz'altro a quale distanza angolare dall'equinozio di primavera si sia trovato in quell'istante il pianeta visto dal Sole. Questa distanza angolare, si chiama la longitudine eliocentrica del pianeta, per opposizione alla sua longitudine geocentrica, cioè veduta dal centro della Terra, che solo all'epoca dell'opposizione coincide colla prima.

Dopo aver notato per una di queste opposizioni l'epoca e la longitudine, lasciamo che il pianeta continui a descrivere il suo cammino a spire in cielo, senza occuparcene finchè giunga presso ad una seconda opposizione. Questa avviene, come noi sappiamo, quando il pianeta è visto in una direzione diversa da quella che aveva nella prima opposizione. Segniamo ancora esattamente il tempo e la longitudine di questa seconda opposizione. E seguitiamo a far ciò nelle opposizioni successive, finchè la longitudine del pianeta in opposizione sia divenuta all'incirca eguale a quella che aveva nella prima opposizione osservata, ossia finchè il sito dell'opposizione abbia descritto in cielo un cerchio intiero. Riportiamo qui sotto i risultati dell'osservazione diretta, che a quel modo si ottengono

per il pianeta Marte. Nei giorni segnati si ebbero opposizioni di Marte, e questi era in esse situato nelle direzioni indicate:

Epoca dell'opposizione			t	Intervallo in giorni	l	Intervallo
Anno	Mese	DATA in giorni e decimi				
1875	Giugno	19,87	170,87	808,63	268°,57	
1877	Settembre	5,50	248,50	797,85	343, 47	434°,90
1879	Novembre	12,35	316 35	775,38	50, 11	426, 64
1881	Dicembre	26,73	360,73	766,26	95, 67	405, 56
1884	Gennaio	31,99	31,99	764,04	132, 09	396, 42
1886	Marzo	6,03	65,03	767,74	165, 90	393, 91
1888	Aprile	10,77	101,77	775,53	201, 79	395, 89
1890	Maggio	27,30	147,30	800,47	246, 40	404, 61
1892	Agosto	3,77	216,77		312, 25	425, 85

Nelle prime tre colonne di questa tabella è data l'epoca dell'opposizione fino ad un centesimo di giorno, riferita al meridiano di Greenwich; nella quarta colonna, intestata t, sono registrati ancora una volta le epoche medesime contate in giorni progressivi dal principio dell'anno corrispondente. La quinta colonna contiene, espressi in giorni, gli intervalli fra due opposizioni successive, cioè le rivoluzioni sinodiche del pianeta, che come vedesi, non sono egualmente lunghe. Quindi sotto l'intestazione l abbiamo le corrispondenti longitudini geocentriche, e quindi anche eliocentriche, e quindi finalmente nell'ultima colonna il numero dei gradi che il pianeta ha percorso in cielo fra due opposizioni consecutive: numero che è uguale alla differenza fra due longitudini successive, $l + 360°$, poichè il pianeta veduto dalla Terra (e lo stesso deve manifestamente avvenire dal Sole) ha prima compiuto un intiero giro, e quindi percorso quel tratto compreso fra i due luoghi d'opposizione.

Dall'esame attento di questi dati d'osservazione relativamente pochi, noi possiamo già trarre delle conseguenze molto interessanti sul movimento del pianeta, quale esso deve presentarsi visto dal Sole. Noi vediamo subito che nella successione dei valori della longitudine non vi è alcun accenno ad un movimento temporaneamente retrogrado, come quello che visto dalla Terra, mostra cappi o spire. Però le longitudini eliocentriche trovate sono, ciascuna separatamente, scelte da un intiero giro del pianeta intorno al cielo dell'osservatore solare, e perciò non possiamo preventivamente sapere, se ogni volta, nella rimanente parte dell'orbita apparente del pianeta intorno al Sole (giacchè noi dobbiamo ancora denominarla apparente, finchè il movimento della Terra intorno al Sole non è definitivamente dimostrato) quest'ultimo non descriva una spira affatto simile, a quella che si vede dalla Terra. Ma noi possiamo facilmente convincerci, che una qualsiasi arbitraria serie di punti, che siano presi ad intervalli all'incirca eguali sopra una linea di orbita, e raggruppati di nuovo in una curva simile, ciascuno di per sè, assumerà la forma della vera linea d'orbita. Se, ad esempio, noi misuriamo ogni anno una volta la longitudine geocentrica di Marte, ma non esattamente all'epoca dell'opposizione, e la segniamo sopra un globo celeste, e se ripetiamo quest'ope-

razione per una lunga serie d'anni, il complesso di punti che così si ottiene si potrà per ultimo congiungere con una curva che presenti delle spire. Ma le longitudini registrate nella tabella, non contengono nulla di tutto ciò; esse sono però distribuite ad intervalli troppo grandi lungo tutta la circonferenza, per poter da sole fornire una dimostrazione rigorosa della mancanza di punti di flesso. Quindi per quanto si tenesse dietro alle opposizioni, non si troverebbe però mai in una qualunque posizione della circonferenza un'agglomerazione molto forte di queste linee di direzione, quale dovrebbe pur verificarsi nei punti, nei quali il pianeta s'indugia particolarmente a lungo nel passaggio dal movimento diretto a quello retrogrado. L'attenta disamina dei siti d'opposizione, ci ha quindi dimostrato di per sè stessa, che il pianeta Marte (e noi avremmo trovato la stessa cosa per tutti gli altri pianeti), visto dal Sole ha soltanto un movimento diretto, e che quindi non forma alcuna spira.

È molto notevole, che si possa stabilire questa proposizione senza fare alcuna presupposizione sulla vera forma del sistema solare. Anche Tolomeo avrebbe potuto trovarla, se avesse avuto a sua disposizione un numero sufficiente di osservazioni. Egli avrebbe allora riconosciuto senz'altro, che le apparenze dei movimenti, vedute dal Sole, si semplificano notevolmente, ed avrebbe probabilmente potuto elevarsi fino al concetto di Copernico. Ma ciò era a lui, del pari che a Copernico, impossibile inquantochè ad entrambi mancavano quelle osservazioni delle quali disponeva Keplero, e che gli erano state tramandate dal grande astronomo danese Tycho Brahe, ed accumulate anche dalla diligenza di tutti gli altri astronomi, che dai tempi di Tolomeo avevano tenuto esattamente conto dei movimenti, quali ci si mostrano, per preparare una base solida, per quanto è possibile, alle speculazioni intorno ai movimenti reali.

Ma dalle osservazioni di opposizioni riportate, noi possiamo dedurre ulteriori conseguenze intorno alle particolarità di questi movimenti eliocentrici. Cerchiamo dapprima di ricavare la vera durata della rivoluzione del pianeta intorno al Sole.

La nostra tabella a pagina precedente ci mostra che fra il 19 giugno 1875 ed il 27 maggio 1890 Marte deve aver compiuto circa otto rivoluzioni, come appare da una semplice noverazione degli intervalli in gradi. A compire le 8 rivoluzioni mancano ancora $268°{,}57 - 246°{,}40 = 22°{,}17$. Ora noi dobbiamo fare un'ipotesi non del tutto giusta, però stando alle considerazioni precedenti, in ogni caso non troppo lontana dalla verità, che cioè il movimento di Marte intorno al Sole, si faccia in modo perfettamente uniforme. Noi troviamo quindi che nell'istante che si considera il pianeta doveva ancora percorrere $22°{,}17 : 360$, ossia $0{,}0616$ parti dell'intiera circonferenza, per compiere otto sue intiere rivoluzioni. L'intervallo di tempo che intercede dalla prima fino alla penultima delle opposizioni registrate abbraccia $5455{,}43$ giorni. Durante questo tempo secondo il nostro calcolo ebbero luogo $8 - 0{,}0616 = 7{,}9384$ rivoluzioni del pianeta intorno al Sole. I due numeri divisi l'uno per l'altro dànno $687{,}21$ giorni per la rivoluzione siderea del pianeta attorno al Sole. A cagione della supposizione fatta più sopra del movimento uniforme quell'ultimo numero è giusto solo approssimativamente. Tuttavia possiamo giovarci di esso per studiare più da vicino le particolarità di questo movimento, e quindi correggere il calcolo già istituito. Un tal procedimento graduale, detto delle

approssimazioni successive, è sempre applicato nella soluzione dei principali problemi astronomici.

A tal fine noi contiamo le durate delle rivoluzioni trovate fino all'istante della prima opposizione (1875) e troviamo $170,87 + 687,21$. A questa epoca (non occorre qui spiegare come essa si esprima civilmente), Marte visto dal Sole, ritorna di nuovo nella sua direzione primitiva, cioè la sua longitudine eliocentrica è allora 268°,57. Sottraendo il tempo dato, da quello corrispondente all'opposizione successiva (1877) giorni 248,50, otteniamo il tempo impiegato dal pianeta a giungere da quella posizione 268°,57, alla posizione dell'opposizione successiva 343°,47. Ma noi possiamo ottenere ancora più semplicemente questo intervallo di tempo, quando si sottragga dall'intervallo di tempo fra due opposizioni successive, che è denominato *la rivoluzione sinodica vera* la rivoluzione siderea: $808,63 - 687,20 = 121,42$ giorni. Durante questo tempo il pianeta visto dal Sole, è progredito da 268°,57 a 343°,47, cioè ha percorso 74°,90. Dividendo l'uno per l'altro quei due numeri, si vede che esso percorreva giornalmente 0°,616. Se istituiamo lo stesso calcolo fra le rimanenti opposizioni, otteniamo i seguenti notevoli risultati, ai quali noi aggiungiamo le direzioni medie, per le quali avvengono questi movimenti. Queste furono trovate semplicemente prendendo la media fra le due posizioni d'opposizione corrispondenti.

Direzione	Movimento diurno	Direzione	Movimento diurno
306°	0,6169°	149°	0,4406°
17	0,6019	184	0,4458
73	0,5167	224	0,5050
129	0,4604	279	0,5814

Noi facciamo qui l'importante scoperta, che le velocità del movimento eliocentrico di Marte, assai variabili, sono pur tuttavia sottoposte ad una determinata regolarità. Se noi avessimo potuto tener dietro ancora ad altre opposizioni, noi avremmo trovato, che alle medesime direzioni, corrispondono sempre le stesse velocità. Così avviene per il movimento di Marte intorno al Sole, quello che avviene per la rivoluzione apparente del Sole attorno alla Terra. Anche per questa ultima non si presentano curve a spirale, mentre le velocità, come già Ipparco aveva trovato, cambiano regolarmente colle stagioni. I nostri numeri per Marte dimostrano, che la sua velocità è minima alla longitudine eliocentrica di circa 150°, mentre è massima nella direzione opposta. Questa direzione coincide con quella, in cui secondo Tolomeo deve collocarsi l'eccentricità del deferente e secondo Copernico quella dell'orbita circolare di Marte attorno al Sole. Così noi abbiamo dedotto direttamente dalle osservazioni una prima approssimazione dell'afelio di Marte (punto dell'orbita di Marte più distante dal Sole) di circa 150°, e quella del perielio (punto dell'orbita di Marte più prossima al Sole) di circa 330°. La vera posizione di questi punti è 153° e 333° rispettivamente.

Poichè siamo già alquanto innanzi nelle cognizioni del vero movimento di Marte in determinate direzioni dell'orbita, così noi possiamo procedere ad una seconda approssimazione nella determinazione della sua rivoluzione siderale, eseguendo

un'interpolazione coll'aiuto dei numeri dell'ultima tabella, che ci dà la velocità di Marte in una parte della sua orbita compresa fra 246°,40 e 268°,57. Noi troviamo per essa 0°,5505. Noi dobbiamo dividere questo numero per 22°,17, che al 27 maggio 1890 mancavano ancora a compiere le otto rivoluzioni intiere cominciate il 19 luglio 1875, e con ciò constatiamo che trascorsero 40,27 giorni, prima che Marte avesse in questa porzione della sua orbita percorso il segmento mancante. Noi aggiungiamo questo numero all'intervallo di tempo compreso fra le due opposizioni che qui consideriamo, cioè giorni 5455,43 ed otteniamo 5495,70, numero che diviso per 8 ci dà la rivoluzione siderale di Marte $u = 686{,}96$ giorni. Questo risultato del nostro calcolo relativamente semplice, si accosta al vero fino a due centesimi di giorno. Se noi avessimo potuto far uso di opposizioni ancora più discoste fra loro, noi avremmo ottenuto $u = 686{,}98$ giorni.

La stessa operazione che noi abbiamo qui descritta in dettaglio per Marte, si può eseguire per gli altri pianeti, e si ottiene, in principio, il risultato medesimo, che cioè, essi visti dal Sole, non formano alcuna spira, ma mostrano per contro velocità differenti, che hanno un massimo, in una certa direzione, diversa per ciascun pianeta visto dal Sole, ed un minimo nella direzione opposta. Contemporaneamente si ottengono le rivoluzioni sideree dei pianeti intorno al Sole.

Mercurio . . .	= 87,969 giorni	Giove . . .	= 4 332,585 giorni
Venere . . .	= 224,701 »	Saturno . .	= 10 759,220 »
Terra	= 365,256 »	Urano . . .	= 30 686,31 »
Marte	= 686,980 »	Nettuno . .	= 60 186,64 »

Così abbiamo adempito la metà del nostro còmpito, quello di riconoscere il movimento dei corpi celesti, come sarebbe veduto dal Sole. Da quanto precede noi possiamo realmente acquistare la cognizione delle direzioni che i pianeti prendono sul cielo del Sole, almeno con un'approssimazione provvisoriamente sufficiente.

Ma per riconoscere la forma reale dell'orbita, noi dobbiamo ancora determinare le distanze dei pianeti dal Sole. A tal fine Keplero ragionava come segue. Sia t, l'istante o meglio l'epoca di una opposizione qualunque del pianeta ed u la sua rivoluzione siderale: all'epoca $t+u$, la longitudine geocentrica l e la distanza r del pianeta dal Sole, saranno le stesse che all'epoca t. Per questa è data immediatamente dall'osservazione e quindi è cognita anche per $t+u$. Ma in quest'ultimo istante la Terra non si trova più sulla stessa linea retta come all'epoca dell'opposizione; quindi i tre corpi Sole, Terra, pianeta, formeranno un gran triangolo, i cui angoli sono forniti dall'osservazione. Si consideri perciò la figura 268. L'angolo A che ha il suo vertice al centro della Terra, ci è procurato dall'osservazione; per trovarlo si procede nel modo seguente. Coll'istrumento adoperato per la misura degli angoli si guarda dapprima il Sole, e si legge la direzione sul circolo graduato, poi si sposta l'istrumento fino ad avere il pianeta nel campo di visione, e si legge ancora il cerchio. La differenza fra le due letture è l'angolo cercato. Se noi indichiamo con S la longitudine del Sole, cioè la sua distanza angolare dall'equinozio di primavera, e con L la distanza angolare del pianeta da quel medesimo punto in quell'istesso istante, avremo $A = L - S$. Il secondo angolo B del triangolo, che ha il suo vertice nel centro del Sole, si

può facilmente trovare come segue: la Terra vista dal Sole, si trova manifestamente nella direzione precisamente opposta a quella del Sole visto dalla Terra; questa longitudine è quindi $E = S + 180$ gradi; l'angolo del triangolo che ha il vertice nel centro del Sole è $B = l - E$; ove l indica ancora la longitudine eliocentrica del pianeta, che noi possiamo, da quanto precede, conoscere ad ogni istante. Il terzo angolo C è notoriamente sempre uguale a $180 - A - B$. Ora conoscendo gli angoli di un triangolo ed un lato, è sempre possibile di calcolare gli altri due lati. Ciò però non è il caso del nostro gran triangolo; ma ora a noi occorre soltanto di determinare il rapporto dei lati fra loro, e questo noi lo possiamo sempre fare prendendo per unità uno dei lati. Facciam subito questa assunzione per la distanza della Terra dal Sole, prendendo cioè $R = 1$. Quindi noi troveremo la distanza r del pianeta dal Sole in parti della distanza della Terra da esso.

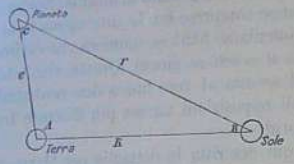


Fig. 268. — Misure delle distanze e degli angoli, fra la Terra, il Sole ed un pianeta.

Ora procediamo innanzi ed introduciamo la rivoluzione siderale del pianeta. All'epoca $t + 2u$, r ed l hanno gli stessi valori di prima, solo la posizione della Terra rispetto al Sole è nel frattempo divenuta diversa. Noi otteniamo un nuovo triangolo, nel quale noi possiamo di nuovo determinare tutti gli angoli, e nel quale ci si presenta il vantaggio, che anche il solo lato r, misurato coll'unità scelta, ci è conosciuto. Noi possiamo quindi questa volta calcolare del pari esattamente R, la distanza della Terra dal Sole, e la ritroviamo ora espressa colla primitiva unità. Questo procedimento ci fornisce anche delle esatte conclusioni sulle variazioni della distanza della Terra dal Sole in un determinato intervallo di tempo. Proseguendo ulteriormente questo procedimento, e calcolando i corrispondenti triangoli per le epoche $t + 3u$, $t + 4u$ ecc., otteniamo ogni volta un altro R, e tutte queste distanze sono misurate con una medesima unità di misura. Noi possiamo disegnarle attorno ad un punto, che si può riguardare come rappresentante il Sole, e congiungendo poi con una curva tutte le estremità di quelle rette, avremo una esatta rappresentazione della vera forma dell'orbita terrestre. Vogliamo anche qui chiarire meglio la cosa, a mezzo di un esempio.

Dalla precedente tabella risulta che nell'epoca 5,50, settembre 1877, si ebbe una opposizione di Marte. La tabella stessa ci dà per longitudine del pianeta $l = 343°,47$. Aggiungendo la rivoluzione siderale $u = 686,98$ giorni all'istante pur ora menzionato, troviamo $t + u = 24,48$, luglio 1879. Ora a quell'epoca la longitudine del Sole fu trovata di $S = 121°,60$, e quella geocentrica di Marte $L = 30°,71$; la longitudine eliocentrica del pianeta doveva, come noi sappiamo, essere contemporaneamente la stessa che all'epoca dell'opposizione, cioè $l = 343°,47$. Noi abbiamo perciò $A = L - S = 90°,89$, $B = l - E = 41°,87$, e quindi $C = 47°,24$. Se ora noi poniamo che la distanza del Sole dalla Terra in quell'istante fosse $R = 1$, noi otteniamo, secondo le regole della trigonometria elementare:

$$r = \frac{\text{sen } 90°,89}{\text{sen } 47°,24} = 1,362.$$

Ciò torna quanto dire che a quell'epoca Marte distava dal Sole $1{,}362$ volte la distanza della Terra dal Sole medesimo. Ciò si può dimostrare con esattezza matematica. Noi procediamo innanzi e determiniamo l'epoca $t+2u=10{,}45$ giugno 1881. A quell'istante fu osservato che era $S=80°{,}06$ ed $L=22°{,}03$. Anche questa volta è $l=343°{,}47$. Da ciò segue che $A=58°{,}03$, $B=83°{,}41$ e $C=38°{,}56$. Questa volta noi vogliamo determinare R per quell'istante, giacchè dal triangolo precedentemente studiato noi già sappiamo che $r=1{,}362$. Si ha quindi $R=r\frac{\text{sen C}}{\text{sen A}}=1{,}362\frac{\text{sen } 38°{,}56}{\text{sen } 58°{,}03}=1{,}001$.

Risulta così che la distanza della Terra dal Sole il 10 giugno 1881 era quasi esattamente la stessa che il 24 luglio 1879. Se ora noi ripetiamo questo calcolo per le due rivoluzioni siderali successive $t+3u$ e $t+4u$, vediamo che per contro il 28 aprile 1883 era soltanto $0{,}992$ di quella del 24 luglio 1879, e che finalmente questo rapporto il 15 marzo 1885 era disceso a $0{,}980$.

Se noi applichiamo questo procedimento di calcolo ad una seconda opposizione, noi troviamo ancora una volta una serie di distanze della Terra dal Sole, che però sono espresse in un'altra unità r. Ma questa seconda opposizione si può così scegliere, che una di queste distanze (raggio vettore) si verifichi quasi allo stesso tempo, di una della prima serie; questa deve quindi essere così vicina a quella, che la piccola differenza possa venir riguardata come progrediente uniformemente col tempo, e quindi possa essere trovata a mezzo di una interpolazione. Il risultato diretto del calcolo dà però numeri diversi per questi raggi eguali, giacchè essi si riferiscono ad unità differenti, cioè sono misurati con unità di misura differenti. Ma poichè noi sappiamo che sono in realtà egualmente lunghi, così si può senz'altro determinare il rapporto delle due unità di misura impiegate, e quindi tutte le grandezze della seconda serie espresse nella loro unità di misura si possono riferire alla prima. Così possiamo procedere con altre serie, finchè si giunga ad avere un numero sufficientemente grande di raggi dell'orbita terrestre distribuiti lungo tutta la circonferenza, che ci offrano dei punti di partenza bastevoli a proseguire il nostro studio completo della forma di quest'orbita.

La tabella seguente è il risultato di un simile calcolo a ripetizione. Nella prima colonna sono date le direzioni eliocentriche, per le quali valgono i raggi registrati a fianco, nella seconda colonna; nella terza stanno le velocità medie diurne del movimento, vedute dalla Terra.

E	R	v	E	R	v
10°	1,000	0,986°	190°	1,000	0,986°
40	0,991	1,003	220	1,008	0,970
70	0,986	1,015	250	1,014	0,957
100	0,983	1,020	280	1,017	0,953
130	0,985	1,015	310	1,015	0,957
160	0,991	1,002	340	1,008	0,969

Da questi numeri noi possiamo dedurre la posizione del perielio della Terra. Il minimo R sta a circa 100° di longitudine eliocentrica della Terra, la quale si verifica intorno al 1° gennaio. Se noi facciamo passare una curva per tutti i punti

dell'orbita terrestre che si possono trovare con questi metodi, oppure se discutiamo coi metodi della matematica, più esattamente, i numeri precedenti, vediamo distintamente che le distanze variabili non possono in modo alcuno soddisfare al circolo eccentrico, ma che esse corrispondono ad un'ellisse, in uno dei fuochi della quale, non nel centro, sta il Sole.

Con queste cognizioni sulla vera forma dell'orbita terrestre, noi possiamo calcolare il raggio vettore R della Terra, per qualsiasi istante del tempo, ed averlo espresso in una determinata unità di misura. Dopo ciò noi conosciamo sempre subito un lato di un triangolo formato dal Sole, dalla Terra e da un dato pianeta, e possiamo quindi determinare la distanza di questo dal Sole, espressa nella medesima unità di misura, e ciò per ogni istante, per il quale a mezzo del metodo addotto, si sia trovato la longitudine eliocentrica di esso. Noi otteniamo così anche i raggi vettori r del pianeta per quante si vogliano sulle longitudini eliocentriche l e possiamo quindi ottenere esattamente la sua orbita. In ciò fare giungiamo ad una conclusione analoga a quella ottenuta per la Terra, che cioè: *tutti i pianeti si muovono attorno al Sole lungo ellissi, in uno dei fuochi delle quali sta il Sole.* Questo risultato fondamentale della deduzione strettamente geometrica è distinto col nome di *prima legge di Keplero.*

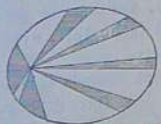


Fig. 269. — Ellisse di Keplero (Le superficie tratteggiate in nero sono fra loro uguali).

Quella che è chiamata la *seconda legge di Keplero* esprime la relazione che noi abbiamo già veduto esistere fra la variazione della distanza nell'orbita ellittica e la velocità del pianeta che la descrive. Essa così suona: *Le aree descritte dai raggi vettori di un pianeta che si muove lungo la sua ellisse, sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle.* Da ciò si deduce come e di quanto un pianeta debba muoversi più rapidamente al suo perielio che al suo afelio; giacchè nel primo i suoi raggi vettori sono più corti che nel secondo; quindi le aree comprese fra due di essi, ad angoli al Sole eguali, sono più piccole per il perielio che per l'afelio. Ora poichè secondo la legge enunciata, l'area descritta in due tempi eguali, mentre il pianeta si muove lungo la periferia della sua ellisse, è la stessa, qualunque sia la parte dell'orbita nella quale esso si trova, così segue che l'angolo compreso fra i due raggi delimitanti l'area deve di necessità essere maggiore al perielio che all'afelio, cioè il pianeta deve muoversi più rapidamente quando passa al primo. La figura 269 chiarisce quest'affermazione: in essa le aree uguali sono tratteggiate. Keplero dedusse anche questa legge direttamente dai risultati del suo lavoro sui campi del Cielo, precisamente come un geometra opera in campagna.

Questa relazione semplicissima tra la distanza di un corpo celeste dal punto centrale del suo sistema e la velocità del suo movimento doveva ribadire sempre più nello spirito profetico del grande riformatore dell'astronomia teorica, l'idea che da quel punto centrale doveva emanare un'unica eterna forza che regolasse tutti i movimenti dei pianeti. La conferma di questa opinione, che sola dall'unità del tutto, poteva conferire al concetto del mondo la vera universalità, derivò dalla terza legge, che così si enuncia: *I cubi delle distanze medie o dei semi grandi assi delle orbite ellittiche stanno fra loro come i quadrati delle durate delle*

rivoluzioni corrispondenti. Ora poichè dopo ciò il quoziente di queste due quantità deve avere per tutti i pianeti la stessa grandezza, così ne riesce chiaramente espressa l'unità della forza, colla quale il Sole regge tutti i pianeti.

10. — Il sistema del mondo secondo Newton.

Dopochè Keplero ebbe dimostrato che, ammesso una volta il movimento della Terra attorno al Sole, si poteva, colla sicurezza assoluta dell'agrimensore in campagna dimostrare che il Sole sta anche al fuoco delle orbite di tutti gli altri pianeti, e che quindi deve emanare una forza generale governante il mondo; inoltre poi quando Galileo stabilì per le condizioni terrestri i principî generali della gravità, si presentò spontanea la questione, se la forza irradiante dalla Terra con continuità così costante ed inalterabile, non potesse venir tirata in campo anche per spiegare i movimenti celesti. Come è noto, si fu Newton che propose per il primo questa questione, e la risolvette a mezzo del calcolo col più brillante successo. Ci proponiamo di esporre, nel modo il più conciso possibile, la serie di deduzioni logiche, che dovevano condurre alla scoperta dell'azione universale della gravitazione.

Fig. 270. — Isacco Newton, nato a Woolsthorpe (Inghilterra) nel 1643, morto a Kensington nel 1727. Da un ritratto contemporaneo ad olio.

A primo aspetto sembra strano ed inconcepibile, che la stessa gravitazione che sulla Terra fa cadere al suolo tutti i corpi, e ve li trattiene appiccicati inerti e pesanti, debba nel firmamento generare i movimenti vivi ed eterni della circolazione degli astri. Se i pianeti pesano realmente verso il Sole, essi, non altrimenti che ogni pietra che nel nostro mondo, lasciata libera, cade al suolo, dovrebbero necessariamente precipitare sul Sole, almeno così sembra dire la più semplice e primitiva riflessione. Ciò però non avviene; quindi non può essere la gravitazione

che produce questi movimenti circolari; giacchè tali vogliamo ora considerarli per semplicità, mentre in realtà i movimenti dei pianeti sono debolmente ellittici. Questa conclusione sembra così naturale, eppure una riflessione alquanto più attenta, ci mostrerà facilmente, che questa volta, la naturale concezione della nostra mente ingannava.

Ovunque sulla Terra si constata che la gravità esige in ogni circostanza il suo tributo: ogni corpo liberamente cadente nel vuoto, percorre, a cagione della gravità, nel primo minuto secondo di caduta, un segmento eguale a $4{,}89$ metri. Quindi se noi lasciamo cadere un corpo, dopo trascorso il primo minuto secondo, esso si trova più in basso di metri $4{,}89$, che prima di cadere. Quindi se noi lanciamo verticalmente all'insù nello spazio un corpo con una velocità tale, che dopo trascorso un minuto secondo esso debba essersi innalzato di 50 metri, noi troveremo che in realtà il corpo si è innalzato di metri $50 - 4{,}89$. Se poi si getta il corpo esattamente in direzione orizzontale, dopo trascorso il primo minuto secondo, nella sua corsa, esso si è abbassato al di sotto di quella di $4{,}89$ metri; di qualunque entità sia stata la sua velocità orizzontale. Questi sono fatti forniti dall'osservazione, e dai quali non si può sfuggire; poichè essi sono della massima importanza per il proseguimento della nostra trattazione, noi dobbiamo precisarli più esattamente colla matematica.

Nella figura 271, v rappresenta la velocità orizzontale, colla quale è animato un corpo; vale a dire un corpo che si trovasse in a, quando fosse sottratto all'azione della gravità, dopo aver camminato durante un minuto secondo, si troverebbe in b. Ma nel medesimo tempo, la gravità lo ha fatto discendere in c. Il segmento $\overline{bc}$ rappresenta quindi l'altezza di caduta nel primo minuto secondo; noi lo rappresentiamo con g, sebbene nelle scuole si soglia rappresentare con questa lettera un valore doppio. Il corpo ha quindi in realtà percorso il cammino $ac = s$. A mezzo del teorema di Pitagora, le due quantità precedentemente nominate ci dànno per questo cammino $s^2 = v^2 + g^2$ (a).

Facciamo subito un'applicazione di ciò. Supponiamo che ad un'altezza di 20 metri sul suolo, sia collocato un cannone, in guisa che la palla debba uscire dalla bocca in direzione perfettamente orizzontale, e che abbia una velocità di 500 metri al minuto secondo. Allora (naturalmente astraendo dalle perturbazioni che possono essere causate dalla nostra aria atmosferica) il quadrato del cammino percorso realmente dalla palla durante il primo minuto secondo è $s^2 = 500 \times 500 + 4{,}89 \times 4{,}89 = 250.023{,}91$. Donde $s = 500{,}02$ metri. Esso è quindi allungato rispetto a v di un tratto insignificante.

Ma se noi potessimo eseguire l'esperimento con tutta la precisione desiderabile noi scopriremmo un altro fenomeno interessante. La palla si è scostata dall'orizzontale del tratto tante volte menzionato di metri $4{,}89$. Ora poichè essa al principio del suo percorso stava all'altezza di 20 metri sul suolo, si dovrebbe in base

(a) [Il moto di un grave cadente nel vuoto è uniformemente accelerato, quindi lo spazio percorso nel primo minuto secondo di caduta è uguale alla metà dell'accelerazione prodotta in un minuto secondo. Questo spazio è nel testo chiamato g. D'ordinario, invece, con g si indica l'intensità della gravità, o più brevemente la gravità che è appunto quell'accelerazione, il cui valore, come fu insegnato nel testo, si determina col pendolo. (O. Z. B.)].

a quanto precede pensare che dopo il primo minuto secondo, occuperebbe un punto alto sul suolo $20 - 4{,}89 = 15{,}11$ metri; per contro noi troviamo che essa sta 2 centimetri più in alto. Se la velocità nel primo minuto secondo fosse stata di 1000, questo apparente innalzamento sarebbe giunto ad 8 centimetri. Esso cresce poi molto rapidamente così che con una velocità di 10.000 metri non ammonterebbe a meno di metri $7{,}85$, cioè in queste circostanze la palla si troverebbe a $20 - 4{,}89 + 7{,}85 = 22{,}96$ metri sul suolo; quindi malgrado la gravità che la tira in basso, e benchè essa sia stata lanciata precisamente in direzione orizzontale, essa si sarebbe elevata di metri $2{,}96$ sopra il suolo.

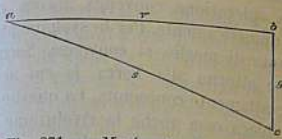


Fig. 271. — Movimento di un corpo lanciato orizzontalmente.

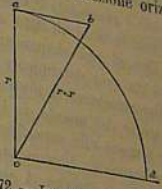


Fig. 272. — Innalzamento di un corpo lanciato orizzontalmente, al di sopra della superficie terrestre.

Questa contraddizione apparente, si spiega facilmente. Essa ha sua ragione di essere nella forma sferica della nostra Terra. Sia nella figura 272 l'arco di cerchio ad quello che rappresenta una porzione della superficie terrestre, e noi siamo in a; se noi lanciamo orizzontalmente un proiettile, quando giungerà in b dovrà essersi allontanato di un tratto x della superficie, perchè questa è incurvata. Quindi, astraendo dall'azione della gravità, e benchè lanciato orizzontalmente, il corpo in b, sarà più lontano dal centro della Terra che in a. Ivi la sua distanza era eguale al raggio r, in b essa è eguale ad $r+x$. Se il segmento ab è noto ed uguale a v, allora noi possiamo calcolare il tratto x che è l'elevazione sopra la superficie terrestre corrispondente ad una data velocità v, a mezzo del teorema di Pitagora, e si ha $r^2 + v^2 = (r+x)^2$. Secondo note regole d'aritmetica, noi possiamo in questo caso trascurare il quadrato di x relativamente piccolo, ed otteniamo quindi dalla precedente equazione $v^2 = 2rx$, $x = \frac{v^2}{2r}$.

A mezzo di questa formola noi possiamo molto facilmente risolvere il problema seguente: trovare quella velocità iniziale, che si deve imprimere alla palla affinchè essa, dopo trascorso il primo minuto secondo di movimento, si trovi ad un'altezza sul suolo eguale a quella che aveva al principiare del movimento. Allora x deve manifestamente essere uguale al segmento di caduta nel primo minuto secondo cioè a metri $4{,}89$. Si ha pertanto $v^2 = 2rg = 2 \times 6.370.000 \times 4{,}89 = 62.290.000$ m., ossia estraendo la radice quadrata da quest'ultimo numero $v = 7891$ m. Così rapidamente dovrebbe volare la palla, per controbilanciare, per così dire, la gravità. Ma poichè dopo il percorso del primo minuto secondo il proiettile nulla ha perduto della sua velocità, così essa ricomincia manifestamente lo stesso giuoco: dopo il secondo minuto secondo la palla ha progredito ancora una volta di 7891 m. ed in ciò fare è caduta di metri $4{,}89$, mentre la superficie terrestre si è di eguale quantità incurvata rispetto al proiettile. Conseguentemente anche dopo due secondi

la palla si trova lontana dalla Terra tanto quanto lo era al principio della sua corsa e così di seguito. In tali condizioni la palla non cade mai sulla Terra, ma gira perpetuamente intorno ad essa; la palla è divenuta un satellite del nostro pianeta, una vera Luna. Se noi fossimo capaci di produrre una tale velocità (i nostri proiettili d'artiglieria, anche i più rapidi, camminano ancora circa dieci volte più adagio) noi potremmo provvedere la nostra Terra, di quanti vogliamo corpi cosmici secondari, che essa dovrebbe lasciarsi girare attorno, costantemente trattenendoli coi saldi vincoli della gravitazione.

Con ciò è presentata la dimostrazione rigorosa, del come i movimenti dei corpi celesti l'uno intorno all'altro, si possano realmente spiegare a mezzo della gravitazione. Ora si può domandare, se questa spiegazione convenga ancora realmente ad un caso determinato, a noi noto numericamente. Per lo svolgimento di questa dimostrazione, la nostra Luna è quanto di meglio ci convenga. Secondo tutte le teorie del mondo, la Luna si muove attorno alla Terra, la cui azione attraente almeno alla superficie è dai noi esattamente conosciuta. La questione è quindi la seguente: L'azione della gravità, spiega essa anche la rivoluzione continua della Luna attorno al nostro pianeta, secondo la teoria svolta?

Prima di poter svolgere questa dimostrazione, ne occorre decidere l'altra questione importante, se cioè la gravità agisca a tutte le distanze dalla Terra con uguale intensità, ossia quale ne è la legge, data per supposizione che essa esista. Si può dimostrare che tutte le forze che emanano da un centro, sorgente di forza ed irradianti, uniformemente in tutte le direzioni, siano esse suono, calore, luce, magnetismo, elettricità, gravitazione, devono diminuire, al crescere del quadrato della distanza dal centro, quando non si presentino azioni contrarie: su ciò noi ritorniamo diffusamente più avanti. Diciamo g la velocità di caduta ad una distanza r, g_1 ad una distanza r_1, allora quella legge di decrescimento si può esprimere a mezzo della formola: $\frac{g}{g_1} = \frac{r_1^2}{r^2}$, donde si ricava: $g_1 = g\,\frac{r^2}{r_1^2}$.

Se, come è in realtà, ci è nota il valore g della gravità alla distanza r dal centro della Terra, dal quale questa forza irradia uniformemente in tutte le direzioni, allora, a mezzo di quella formola noi possiamo subito calcolare la sua azione ad un'altra distanza r_1, ad esempio a quella della Luna. Poniamo in cifre rotonde $r_1 = 384.400.000$ metri, allora noi otteniamo per l'attrazione alla distanza della Luna:

$$g_1 = \frac{4.89 \times 6.370.000 \times 6.370.000}{384.400.000 \times 384.000.000} = 0{,}_{00135} \text{ metri.}$$

Quindi alla distanza della Luna, a cagione dell'attrazione della Terra, un corpo descrive ancora nel primo minuto secondo 1 millimetro ed $^1/_3$, mentre alla superficie della Terra percorre metri $4{,}_{89}$.

Si può ora domandare, se realmente la Luna, cada in ogni minuto secondo, verso la Terra, della quantità pur ora trovata, ovvero in altre parole, se la sua orbita sia incurvata in guisa, che si stacchi per ciascun minuto secondo di metri $0{,}_{00135}$ dalla linea retta che è condotta tangenzialmente al circolo descritto come media.

Abbiamo già dato precedentemente la formola a mezzo della quale si può calcolare quella quantità x. Nel nostro caso r è uguale alla nota distanza della Luna dalla Terra; la grandezza v è manifestamente eguale al segmento percorso dalla

Luna lungo la sua orbita in un minuto secondo, o meglio così poco diverso da esso, che come il nostro primo esempio della palla di cannone dimostrò, possiamo senz'altro scambiare v con s. Ma noi possiamo trovare quel segmento dividendo la periferia dell'orbita della Luna, per il numero dei secondi che il nostro satellite impiega a percorre la sua orbita. Ma, come è noto, la circonferenza di ogni circolo è uguale al suo diametro $2r$ moltiplicato per il noto numero $\pi = 3{,}1416$. Ora qui si tratta della rivoluzione sinodica della Luna, per la quale abbiamo già trovato il numero rotondo di secondi 2.361.000. Chiamiamo u questo numero, avremo allora $v = \frac{2r\pi}{u}$ ed $x = \frac{2r\pi^2}{u^2} = \frac{2 \times 384.000.000 \times (3.1416)^2}{(2.361.000)^2}$. Il computo numerico dà metri 0,00136, importo, del quale, determinato con metodi geometricamente esatti, la Luna si scosta in ogni secondo dalla tangente alla sua orbita, verso la Terra, cioè cade verso la Terra medesima. Noi vediamo che con grande approssimazione, coincide fino ad un centesimo di millimetro con quello determinato precedentemente a mezzo del decrescimento quadratico della gravità, differenza che se si tenesse conto di alcune circostanze diverrebbe affatto insignificante. Questa concordanza ci fornisce la dimostrazione, che la Luna descrive realmente, a cagione della gravità, la sua orbita attorno alla Terra, non diversamente da quella palla di cannone, che noi abbiamo, coll'immaginazione, costretto a circolare perennemente attorno alla Terra come un satellite, a mezzo di un impulso comunicatole una volta.

La forza d'attrazione della Terra regola la Luna. La forza medesima s'irradia anche nello spazio al di là della periferia dell'orbita lunare. Non dovrebbe quindi spiegarsi anche a mezzo di essa il movimento del Sole, e non avrebbero quindi ragione i dotti dell'antichità, che collocavano la Terra al centro dell'Universo? Si vede che può soltanto accadere uno dei due casi: o il Sole si muove attorno alla Terra, come noi scorgiamo (ed allora come abbiamo constatato i movimenti dei pianeti si presentano molto complicati e sono difficili a comprendersi), oppure la Terra si muove intorno al Sole, col che d'un tratto i movimenti celesti si semplificano essenzialmente. Fino a questo punto non era concesso il decidere fra queste due possibilità; per la Terra noi dovemmo restar contenti ad una grandissima probabilità. Solo il calcolo ed i numeri possono pronunziare la gran sentenza, se cioè si debba, oppure non, cacciare la Terra dal centro del mondo.

La prima questione a questo riguardo è: quanto è grande la forza d'attrazione della Terra alla distanza del Sole, che a mezzo delle misure di parallasse fu in cifre rotonde trovata eguale a 148.600 milioni di metri. Introducendo questo numero nella formola già adoperata per la Luna, si trova che un corpo, a quella distanza dalla Terra, verrebbe dall'attrazione di questa, accostato ad essa, in un minuto secondo soltanto di 1:111.300.000 m. Quindi il Sole cade veramente verso la Terra in un minuto secondo, di questa minutissima lunghezza. Di ciò non devesi dubitare, quando si ammetta che la gravitazione universale vale ovunque.

Ora si può domandare: se il Sole, dato che esso si muova veramente alla menzionata distanza intorno alla Terra, si stacchi sulla sua orbita di altrettanto dalla tangente ad essa e verso la Terra, e se quindi l'x trovato colla formola già applicata concordi col valore di g, sopra determinato per il Sole. Nel caso nostro, troviamo u, la durata della rivoluzione del Sole, eguale a circa 31.560.000 secondi.

Il calcolo con queste cifre dà $x = 1 : 339{,}6$ m., risultato che non concorda assolutamente con quello trovato poc'anzi $g_1 = 1 : 111.300.000$ m. La nostra teoria che s'accordava, per la Luna, così completamente colle osservazioni, fallisce qui completamente. La Terra non governa il Sole, ma all'opposto il Sole irradia una potente forza d'attrazione, e rende per tutta l'eternità la Terra e tutti gli altri pianeti suoi soggetti.

Quando noi diciamo tutti i pianeti, sembra che noi parliamo con precipitazione: e si può discutere se nella teoria esposta pur ora, non si possano ancora trovare dimostrazioni più dirette delle considerazioni svolte più sopra intorno alle semplificazioni che si verificarono non appena riconoscemmo con certezza il movimento della Terra intorno al Sole. Realmente quella dimostrazione non fu ancora data e dobbiamo completarla a mezzo dell'altra che prova, che l'attrazione del Sole, di tanto più energica, è sottoposta alle medesime leggi di quella della Terra. Essa deve essere di per sè costante e quindi deve appalesarsi colla legge del decrescimento quadratico. Per vedere se ciò avvenga, dobbiamo esaminare ogni pianeta con quel metodo che tenemmo per la Luna, e dobbiamo trovare per una determinata distanza sempre la stessa intensità della forza d'attrazione.

Nel ricercare se tale sia il caso, ne è d'uopo determinare dapprima quanto sia grande l'attrazione del Sole. La concordanza fallita dei valori ultimamente trovati per x e g_1 mostrò che l'attrazione del Sole, deve superare di molto quella della Terra. Si può trovare subito il rapporto di esse, dividendo i due numeri l'uno per l'altro; giacchè il valore di g_1 poc'anzi trovato è la vera attrazione del Sole alla distanza della Terra; x per contro, per quanto ora sappiamo, rappresenta la grandezza della quale la Terra è rimossa verso il Sole in ogni minuto secondo, dalla direzione rettilinea del suo moto progressivo, per venir condotta lungo la sua orbita circolare: ossia x è il reale segmento di caduta della Terra, ossia l'attrazione del Sole espressa nella stessa distanza in metri e per un minuto secondo; come è il caso per g_1. Il rapporto dell'attrazione del Sole a quella della Terra è quindi uguale a $\frac{x}{g_1} = \frac{111.300.000}{339.6} = 327.800$. Da questo si vede che la forza d'attrazione emanante dal Sole nello spazio cosmico è circa trecento trenta mila volte maggiore di quella della Terra. Questo è l'immane potere centrale, a mezzo del quale è mantenuto l'ordine nel nostro bel sistema, con inalterabile continuità, e col quale l'astro centrale dominante si assicura un predominio assoluto sui suoi sudditi.

Noi non possiamo in alcun modo rappresentarci questa forza immane. Se la Terra fosse dotata di una forza eguale, i corpi alla sua superficie non percorrerebbero nel primo minuto secondo di caduta soltanto $4{,}89$ metri ma 327.800 volte $4{,}89$, cioè circa 1.600 km. Un oggetto insignificante, come ad esempio un pezzettino di carta quadrato, con 10 mm. di lato, che ora sulla Terra pesa circa 1 cg. sollecitato dalla forza d'attrazione del Sole, diverrebbe nella nostra mano un peso ben sensibile, raggiungendo esso il valore di $327.800 \times 0{,}00001 = 3{,}25$ kg. Quale enorme pressione devono esercitare le masse sul Sole! Quali forze estremamente energiche lavorano in questo focolare centrale del nostro ristretto sistema cosmico, e colla conversione in calore ed in luce di quella pressione che non ha misura ci forniscono la meravigliosa forza della vita!

Però alla superficie del Sole, quella pressione non è certo così ragguardevole come quella che abbiamo trovato poc'anzi. Il diametro del Sole è molto superiore a quello della Terra, e noi più sopra avevamo istituito il nostro calcolo per una distanza dal centro eguale al raggio terrestre, al fine di conservare nel paragone le stesse unità. Abbiamo già imparato che il diametro del Sole vale $108,_6$ volte quello della Terra. Ora la forza d'attrazione diminuisce col quadrato delle distanze, quindi, per trovare la forza d'attrazione alla superficie del Sole, bisogna dividere il numero trovato 327.800 per $108,_6 \times 108,_6$, onde ottenere il numero desiderato che è $27,_8$. Un oggetto che sulla Terra pesa 1 kg. deve quindi alla superficie del Sole pesare $27,_8$ kg. Se colà si lasciasse liberamente cadere quel corpo nel primo minuto secondo, esso dovrebbe percorrere $27,_8 \times 4,_{89} = 136$ m. Questi sono fatti che sono stati scoperti di deduzione in deduzione, introducendo come premesse soltanto dati forniti dall'osservazione.

Ma dai fatti esposti si possono dedurre ancora altre interessanti conseguenze. Le indagini fisiche hanno confermato il risultato, che ogni corpo esercita tanto maggiore attrazione quanto più è pesante, od in altre parole più esattamente, che la sua forza d'attrazione è proporzionale alla sua massa. Da ciò segue in primo luogo che il Sole è 327.800 volte più pesante della Terra; così noi abbiamo, per così dire, portato il Sole, sul piatto della bilancia. Colla massa che è accumulata nel Sole, si potrebbero quindi formare 327.800 sfere grosse quanto la Terra, ed aventi una densità media eguale a quella degli strati rocciosi terrestri. Ora come si sa i volumi di due sfere stanno fra loro come i loro diametri, moltiplicati ciascuno tre volte per sè stesso. Ora poichè il Sole è in diametro $108,_6$ volte maggiore della Terra, così si trova che il suo volume è 1.280.000 volte superiore a quello della Terra. Ora poichè in questo volume deve essere distribuita una massa maggiore soltanto di 327.800 volte, così si vede che nel Sole la materia deve essere meno addensata che sulla Terra. La densità del Sole, in confronto a quella della Terra risulta eguale a $\frac{327.800}{1.280.000} = 0,_{256}$, ossia ad un quarto circa di quella terrestre. Malgrado l'energica pressione che sul Sole mantiene assieme le masse, la sostanza di esse è ancora più diffusamente distribuita che sulla Terra.

Noi dobbiamo ancora dimostrare che l'attrazione del Sole si comporta anche rispetto a tutti gli altri pianeti a quel modo medesimo che colla Terra, vale a dire che essa diminuisce del pari col quadrato della distanza. Solo quando ciò sia definitivamente provato dall'osservazione, anche le altre conclusioni saranno indiscutibilmente giuste. Questa dimostrazione si può fornire facilmente a mezzo del pregevole materiale che siamo venuti frattanto accumulando. Se infatti si verifica questa legge della diminuzione quadratica, allora per ciascun pianeta, il g che ad esso compete deve concordare coll'x corrispondente. Ossia nel linguaggio algebrico dev'essere $x = g = \frac{2r\pi^2}{u^2}$ e del pari $x_1 = g_1 = \frac{2r_1\pi^2}{u_1^2}$. Quest'ultima formola è per un secondo pianeta. Dalle due formole si ricava $\frac{g}{g_1} = \frac{ru_1^2}{r_1u^2}$. Secondo la legge del decrescimento quadratico dell'attrazione deve pur sussistere il rapporto $\frac{g}{g_1} = \frac{r_1^2}{r^2}$. Se noi introduciamo quest'ultima espressione nel membro di sinistra dell'ultima equazione, si ottiene $\frac{r_1^2}{r^2} = \frac{r}{r_1} \cdot \frac{u_1^2}{u^2}$, ossia $\frac{r_1^3}{u_1^2} = \frac{r^3}{u^2}$. Questa è la famosa espressione

che esprime matematicamente la terza legge di Keplero, del rapporto dei cubi delle distanze ai quadrati delle durate delle rivoluzioni. Noi l'abbiamo qui dedotta dalla semplice legge newtoniana del decrescimento quadratico dell'attrazione.

Il materiale d'osservazione esistente ci permette di provare che la cosa succede veramente così. Secondo il metodo puramente geometrico precedentemente esposto, si hanno per r ed u i seguenti valori:

	r	u		r	u
Mercurio .	= 0,3871	87,97 giorni	Giove .	= 5,2028	4 332,58 giorni
Venere .	= 9,7233	224,70 »	Saturno .	= 9,5389	10 759,22 »
Terra .	= 1,0000	365,26 »	Urano .	= 19,1833	30 686,51 »
Marte. .	= 1,5237	686,98 »	Nettuno .	= 30,0551	60 186,04 »

Qualunque sia la serie che noi consideriamo, noi troveremo sempre che elevando il primo numero alla terza potenza, ed il secondo al quadrato, e dividendo poi l'uno per l'altro questi due prodotti, si ottiene sempre un solo e medesimo numero piccolissimo, che ha per numeratore 1 e per denominatore 133.400. Estraendo la radice quadrata da quest'ultimo numero si ha: 365,26, cioè la durata della rivoluzione della Terra intorno al Sole, per la ragione facilmente discernibile, che per la Terra si è preso $r = 1$.

Colla deduzione di questa legge meravigliosa che collega tutti i pianeti, si ha nello stile più grandioso il coronamento dell'edifizio unitario del sistema del mondo. La qui annessa tavola raffigura la distribuzione nello spazio del nostro sistema, e le dimensioni di esso comprendendovi le orbite delle comete periodiche.

Tutti gli ulteriori lavori dell'astronomia di misura non hanno quindi più per còmpito che di estendere oltre e completare nelle sue singole parti il sistema newtoniano del mondo. Si tratta di spiegare fin nelle loro più minute particolarità i movimenti dei corpi celesti, a mezzo di quest'unica semplicissima legge del decrescimento quadratico dell'attrazione dei corpi celesti e della proporzionalità di essa alle masse di questi. Ossia, in altre parole, si tratta di dimostrare che data quella legge, ne seguono di necessità i loro movimenti. Stante la complicazione dei movimenti osservati in Cielo, e dei quali, in quanto precede, abbiamo potuto dare soltanto un cenno affatto generale, quel problema è tutt'altro che facile. A cagione della molteplicità di corpi celesti, e della grandezza del lavoro che va congiunta all'ampia estensione di tali ricerche e per altra parte a motivo dello stato odierno ancora incompleto dell'analisi matematica, esso diviene uno dei problemi più difficili che si siano presentati all'intelletto umano. Qui, ove non ci è concesso far uso che dei più elementari sussidi matematici, ne è giuoco forza il procedere a salti nel cammino della dimostrazione rigorosa, lasciando nel corso di questa molte lacune, limitandoci a tenere dietro solo ad alcuni dei più semplici ragionamenti che vi si riferiscono.

Subito ci si presentano quei pianeti che formano essi stessi sistemi di movimenti centrali, cioè che sono circondati da lune o satelliti. Se la legge di Newton ha veramente valore universale, essa deve rivelarsi anche nelle circostanze del movimento di tutti i satelliti, ed in modo speciale, deve senza altro risultare dall'osservazione la terza legge di Keplero, là ove esistono parecchi satelliti. Le durate delle rivoluzioni dei satelliti e le loro distanze relative dal pianeta, si possono

GRANDEZZA DEI PIANETI
PER RAPPORTO AL SOLE

Il diametro del disco solare è uguale ad 1 piede parigino, pari a 325 millimetri.

Migliaia

Chilometri

♆ Nettuno

♅ Urano

♄ Saturno coll'anello

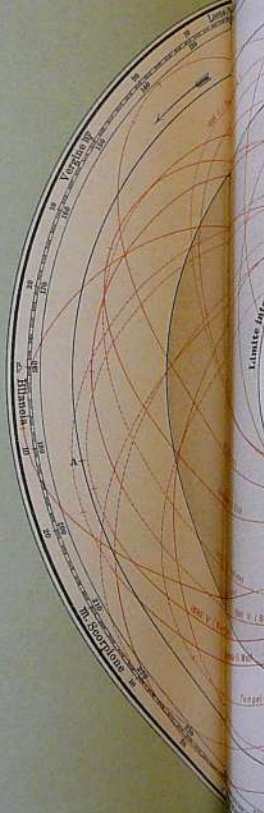
♃ Giove

♂ Marte

Luna ☽ Terra

♀ Venere

☿ Mercurio



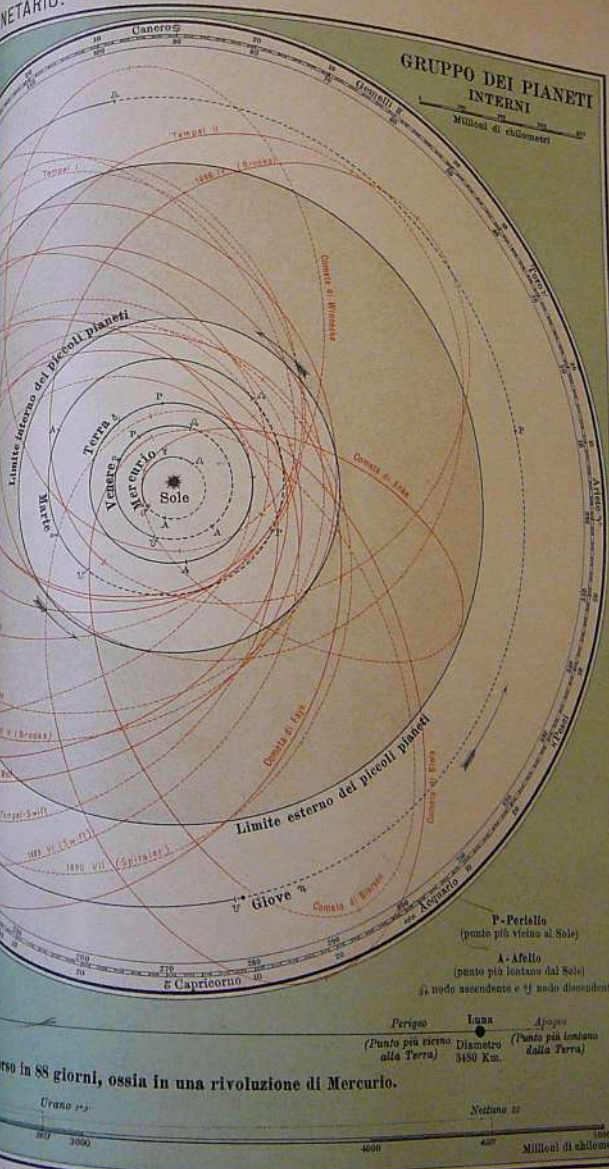
Terra

Diametro 12756 Km.

Rapporto fra le grandezze e distanza della Terra e della Luna.

Distanza media = 384 000 chilometri

Distanze medie dei pianeti dal Sole e segmento della loro orbita percorso



P - Perielio
(punto più vicino al Sole)

A - Afelio
(punto più lontano dal Sole)

☊ nodo ascendente e ☋ nodo discendente

Perigeo (Punto più vicino alla Terra) — **Luna** ● Diametro 3480 Km. — *Apogeo* (Punto più lontano dalla Terra)

rso in 88 giorni, ossia in una rivoluzione di Mercurio.

Urano ♅ — *Nettuno* ♆

3000 — 4000 — Milioni di chilometri

in Leipzig

osservare senza fare alcuna supposizione sulle vere distanze o movimenti del nostro punto d'osservazione o del sistema di satelliti. È infatti possibile determinare quelle distanze relative, sempre in parti del diametro apparente del pianeta, in quell'istante che si considera, diametro che viene alterato dalla mutata distanza di tutto il sistema nel rapporto medesimo che le distanze dei satelliti dal centro del loro pianeta. Sebbene le orbite dei satelliti debbano, a cagione della posizione dei loro piani, apparirci ristrette, tuttavia, come si vede facilmente, la massima distanza apparente del satellite dal suo pianeta, corrisponderà sempre al diametro della sua orbita, finchè, come prima approssimazione la riguarderemo come circolare, il che, data la loro elitticità molto piccola, è senz'altro permesso.

Se pertanto la terza legge di Keplero è anche applicabile ai satelliti di tutti gli altri pianeti, allora deve ancora essere costante il rapporto del quadrato della durata della rivoluzione al cubo della distanza dal centro del suo sistema speciale, mentre questo rapporto sarà diverso per ogni pianeta. Sviluppiamo subito il calcolo per i cinque satelliti di Giove. L'osservazione ci fornisce per essi le seguenti durate delle rivoluzioni in giorni, e le distanze medie in parti del raggio equatoriale di Giove.

	u	r	r_1
V.	0,4982	2,55	0,001 212
I.	1,7691	5,933	0,002 820
II.	3,5512	9,439	0,004 485
III.	7,1545	15,057	0,007 154
IV.	16,6890	26,486	0,012 583

Lo stesso calcolo che abbiamo già eseguito per i pianeti, ci dà per questi cinque satelliti realmente un solo e medesimo numero, e precisamente 66,71. È con ciò dimostrato che anche da Giove s'irradia una forza che diminuisce col quadrato della distanza. Noi possiamo subito misurare la grandezza di questa forza centrale, convertendo in assolute le distanze relative dei satelliti dal centro della forza, oppure cercando di trovare il loro rapporto all'unità generale del sistema solare, la distanza del Sole. Perciò abbiamo introdotto nella precedente tabella una colonna intestata r_1, che dà le distanze dei satelliti espresse in unità di distanza solare. Noi vediamo facilmente che i valori di r_1 possono con grande sicurezza venir determinati anche a mezzo della terza legge di Keplero, giacchè quando si conosce la durata della rivoluzione di Giove si trova direttamente con un calcolo semplice, almeno la distanza media di Giove dal Sole espressa in unità di distanza solare. Perciò fare ora si deve eseguire il quadrato della durata della rivoluzione, ed estrarre da esso la radice cubica, nel che vuolsi soltanto por mente a ciò che noi dobbiamo adoperare come unità per la durata delle rivoluzioni l'anno, e conservare per la distanza l'unità voluta.

Se noi istituiamo ancora una volta il calcolo con r_1, allora si ottiene per $u^2 : r_1^3$ relativamente a tutti cinque i satelliti il numero 1 : 139.800.000. Poichè questa volta abbiamo fatto uso della stessa unità adoperata nel calcolo dei pianeti, così questo numero esprime senz'altro, di quanto la forza centrale emanante da Giove sia inferiore a quella del Sole. La divisione dei due risultati, cioè $\frac{139.800}{139.800.000}$, mostra che l'attrazione di Giove è 1048 volte più debole di quella del Sole, e quindi 313 volte

più energica di quella della Terra, giacchè trovammo che la massa del Sole equivale a 327.800 volte quella della Terra. Poichè la forza d'attrazione è direttamente proporzionale alla massa, così questi numeri rappresentano senz'altro i reciproci rapporti delle masse. Ora il volume della sfera di Giove è in cifre rotonde 1260 volte maggiore di quello della Terra; la massa, solo 313 volte maggiore, deve distribuirsi in questo volume. Essa è quindi circa quattro volte più diffusa o rara della massa terrestre. Pertanto la densità di Giove risulta quasi uguale a quella del Sole. Se il diametro di Giove non fosse maggiore di quello della Terra, ogni oggetto dovrebbe alla sua superficie essere tanto più pesante quanto più la sua massa è maggiore, cioè un chilogramma terrestre dovrebbe colassù pesare 313 chilogrammi. Ora poichè Giove ha un diametro circa 11 volte maggiore di quello della Terra, e la forza d'attrazione diminuisce col quadrato della distanza, così noi dobbiamo ancora dividere il numero 313 per 11×11, per riconoscere che su quel pianeta tutti gli oggetti pesano circa 2 volte e mezza più che sulla Terra. Così d'altrettanto deve più rapidamente cadere verso il centro di Giove, nel primo minuto secondo di caduta, un oggetto lasciato colà libero, e precisamente di $4{,}9 \times 2{,}5 = 12{,}5$ metri. In grazia dell'universalità della legge di Newton noi abbiamo potuto a mezzo di una deduzione relativamente assai semplice ricavare l'esito di un esperimento fisico esatto fino ad una frazione di metro, che altri esseri potrebbero eventualmente istituire sopra un altro corpo celeste. Tutte le correzioni necessarie per tener conto dello schiacciamento del pianeta e della sua rotazione, si possono del pari apportare.

Per gli altri pianeti che posseggono dei satelliti si può istituire lo stesso calcolo, così si ottengono i numeri che sono registrati nelle tabelle delle orbite dei pianeti.

Ma nella nostra ricerca di nuove conferme della legge di Newton non dobbiamo dimenticare, che in vari punti delle nostre investigazioni, abbiamo, per semplificare lo studio, trascurato certe circostanze, il che potemmo dimostrare essere in quei casi permesso, mentre è possibile che quelle circostanze stesse debbano anche talvolta essere attentamente considerate. Così, ad esempio, finora abbiamo sempre considerato la gravitazione come se le masse tanto del corpo attratto che di quello attraente fossero riunite nei rispettivi centri. Ma a tutto rigore si sarebbe dovuto tener conto delle forze di ogni singola molecola della massa centrale, sopra ogni singola molecola del corpo mobile, e ciò a termini della legge di Newton. Si è però potuto dimostrare, che quando si tratta di masse piccole rispetto alla loro mutua distanza, e che inoltre sono simmetricamente conformate e di una tal quale rigidità, come la massa della Terra, il movimento complessivo avviene come se il corpo non avesse diametro. Per contro quest'applicazione semplificata della legge, non è più consentita, non appena alcune parti del corpo celeste che si considera siano mobili di per sè, come lo è ad esempio il rivestimento liquido della Terra. Su quest'ultimo il Sole e la Luna debbono esercitare attrazioni speciali, che noi realmente constatiamo coll'osservazione dei loro effetti, nel *flusso* e *riflusso*, ossia nelle *maree*. La forza complessiva d'attrazione che la Luna esercita sulla Terra, è, a termini della legge di Newton, espressa dalla formola $\frac{m}{r^2}$, nella quale m è la massa della Luna, r è la distanza del suo centro dal centro della

Terra. Per un punto della Terra, che abbia la Luna precisamente allo zenith, quest'attrazione è alquanto maggiore giacchè, chiamando d il raggio terrestre, noi otteniamo che questa forza d'attrazione è uguale a $\frac{m}{(r-d)^2}$. Per computare a quanto ammonti la differenza della forza d'attrazione al centro ed alla superficie, noi dobbiamo fare la differenza fra i due valori dati, che è:

$$m\left(\frac{1}{r^2}-\frac{1}{(r-d)^2}\right)=m\frac{d(d-2r)}{r^2(r-d)^2}.$$

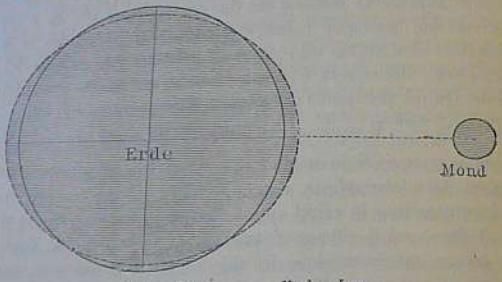
Ora noi possiamo permetterci di trascurare il raggio d, e poichè esso appare qui come fattore che accresce la distanza dei due corpi celesti che è, a petto di esso, molto grande, così noi possiamo cancellarlo nelle due parentesi, al numeratore ed al denominatore dell'ultima espressione. L'effettuazione pratica del calcolo coi valori numerici reali dimostrerà, che ciò facendo non si va incontro ad alcun errore notevole. Quindi per quella differenza delle attrazioni, noi abbiamo l'espressione approssimata $\frac{2md}{r^3}$. Il segno — che fu tralasciato, nulla importa all'argomento.

Con questa forza quindi le acque dell'oceano vengono attratte dalla Luna più delle altre parti del globo celeste, non appena la Luna passa sovra di esse. È ben noto che noi constatiamo in realtà questa forza d'attrazione. Sopra tutte le coste dell'Oceano, il flusso ed il riflusso s'avvicendano giornalmente due volte; e gli intervalli di tempo che intercedono fra due istanti di acqua alta, sono in media esattamente eguali agli intervalli di tempo che trascorrono fra due culminazioni successive della Luna: e qui per culminazione della Luna dobbiamo intendere tanto quella superiore quanto quella inferiore. Un sollevamento dell'acqua si produce anche in quelle regioni della Terra, che sono dalla parte opposta alla Luna. Ciò può a primo aspetto parere strano, ma con una più attenta considerazione si spiega facilmente con ciò che i punti che hanno la Luna al nadir, subiscono un'attrazione che è diminuita per la distanza $r+d$. In quelle regioni le masse liquide sono tanto meno attratte, quanto lo sono più quelle giacenti nella parte della Terra diametralmente opposta alle prime; ne deriva quindi una forma dell'involucro liquido, quale è quella rappresentata schematicamente ed esageratamente nella figura 273. In natura la forma del sollevamento liquido dovuto alle maree, non è, come si comprende facilmente, così semplice. La conformazione complicata dei continenti produce un accumulamento ed un ritardo delle onde di marea, che per ogni punto della costa ha un valore diverso, ma che, astraendo dalle perturbazioni prodotte da tempeste speciali o da altre cause, si conserva costante per ogni luogo, di guisa che, quando si sia una volta determinato praticamente per il luogo che si considera quello che è detto, lo *stabilimento del porto*, si può per quel luogo calcolare in antecedenza quanto piaccia, a mezzo del movimento della Luna, le epoche del flusso e del riflusso.

Poichè a cagione della generale diversità dei valori dell'altezza della marea, non si potrà mai determinare praticamente l'azione complessiva della Luna sulle masse liquide terrestri, così non ha grande importanza lo stabilire intorno a ciò delle ricerche teoriche, giacchè in questo campo la teoria e la pratica non possono misurarsi fra loro. Per contro si ha una prova interessante della giustezza delle nostre vedute sulla causa delle maree, nel fatto che evidentemente anche il

Sole, al pari della Luna, deve esercitare un'azione analoga sulle acque della Terra. A cagione della distanza tanto maggiore del Sole da noi, che qui poi entra ancora alla terza potenza, la marea solare, malgrado la massa solare così enormemente maggiore, si presenta molto minore di quella lunare. Se chiamiamo M la massa del Sole ed R la sua distanza da noi, avremo per il mutuo rapporto delle due maree l'espressione: $\frac{M\, r^3}{m\, R^3}$.

Noi possiamo determinare praticamente questo rapporto. L'osservazione ci dice che l'altezza delle maree varia periodicamente: esse sono maggiori all'epoca della



Erde = *Terra*. Mond = *Luna*.

Fig. 273. — Il flusso ed il riflusso prodotto dall'attrazione lunare.

Luna piena e nuova, perchè allora le azioni del Sole e della Luna si sommano; sono per contro minime alle epoche del primo e dell'ultimo quarto: giacchè allora quelle azioni sono di senso opposto. Ora coll'osservazione diretta si è trovato che il rapporto della marea solare a quella lunare è uguale a 0,4255. Noi possiamo quindi porre a confronto questo numero all'ultima nostra formola, e considerando una delle quattro quantità che entrano in essa come incognite determinarla, ricavandola da essa. Ora se si ottiene per una via affatto diversa lo stesso valore, allora noi potremo riguardare come confermate le nostre vedute sulla provenienza delle maree, e con ciò anche il teorema sull'attrazione speciale di ogni molecola sopra ogni altra dell'Universo.

Per quanto precede, possiamo riguardare come bastantemente note le distanze r ed R, nonchè la massa del Sole. Prendiamo il rapporto $R : r = 385$ ed $M = 327.800$. Con questi due numeri possiamo dedurre la massa della Luna, che non ci è ancora nota, dal movimento delle maree praticamente osservato. Si ottiene

$$m = \frac{M\, r^3}{0{,}4255 \times R^3} = \frac{327.800}{0{,}4255 \times 385^3} = \frac{1}{74}.$$

A mezzo pertanto del rapporto osservato sulla Terra tra l'attrazione del Sole e quella della Luna, sulle particelle mobili liquide della Terra, abbiamo trovato che la massa della Luna deve essere circa 74 volte minore di quella della Terra. Osservazioni più esatte di quelle delle pulsazioni del mare eternamente irrequieto, hanno fornito la massa della Luna con una concordanza relativamente buona,

eguale ad $^1/_{80}$. Ma nei movimenti dell'acqua del mare e nelle variazioni del suo livello, non si riflettono soltanto i movimenti generali del Sole e della Luna, ma altresì le posizioni particolari di questi astri: l'altezza della marea è maggiore quando la Luna è alla sua minima distanza dalla Terra, e può divenire pericolosa nella marea primaverile, se quella minima distanza della Luna accade contemporaneamente alla minima distanza del Sole.

Senza alcun dubbio la medesima attrazione che produce le maree del mare, produce anche dei movimenti analoghi nell'oceano aereo che avvolge la Terra. Ora poichè nell'aria non vi è nulla che dia occasione all'accumulazione delle masse aeree, così il movimento di flusso e riflusso dell'oceano aereo non può avere che un'ampiezza molto ristretta, segnatamente anche perchè la grande mobilità ed elasticità dell'aria cagiona rapidamente il ragguaglio. Ricerche teoriche di Laplace e di altri hanno mostrato che l'onda di marea acquea stessa, nell'ipotesi che essa possa liberamente propagarsi sopra un oceano che circondi d'ogni parte la Terra, non può raggiungere che l'altezza di due piedi e mezzo. Ciò nullameno Oppolzer ha calcolato, che pur accettando l'altezza di un solo piede sono 120 miglia geografiche cubiche d'acqua che giornalmente sono portate in giro attorno alla Terra, in apparenza, dall'onda di marea, giacchè in realtà esse sono tenute ferme, e si è la Terra che ruota sotto di esse. Anche per l'oceano aereo si verificano delle attrazioni analoghe. La loro azione corrisponde ad una oscillazione del barometro, che sarebbe prodotta da una variazione dell'altezza del luogo di 0,3 mm. durante la posizione variabile della Luna. In pratica si rintracciano realmente degli indizi di condizioni della pressione atmosferica periodicamente variabili colla posizione della Luna. Queste oscillazioni sono però così tenui, che sarebbe impossibile e non scientifico il fare in base ad esse delle predizioni del tempo, come pur vollero Rodolfo Falb ed altri. Sopra basi ancora meno sicure poggia l'ipotesi dei terremoti proposta da quest'ultimo, che vorrebbe attribuire gli scuotimenti della crosta terrestre all'attrazione della Luna sulle masse fluide dell'interno della Terra. Qui non è luogo a trattare più lungamente di questo argomento.

Ma la forza d'attrazione del Sole e della Luna su parti del globo terrestre si mostra ancora molto più ragguardevole in quei fenomeni che sono denominati la precessione lunisolare e la nutazione, il cui effetto pratico già ci è noto. Si constata che la posizione dell'asse terrestre è soggetta a certe fluttuazioni periodiche, che lo portano in giro sopra la superficie di un cono una volta in 26.000 anni, in cifre rotonde, per la precessione, ed in 18 e mezzo per la nutazione. Vedemmo inoltre che si possono produrre movimenti simili con una trottola, con una spinta laterale infertale durante la sua rotazione, però il cerchio descritto dall'estremità dell'asse di rotazione, cioè l'apertura angolare del cono, diverrebbe poco per volta sempre minore, quando quella spinta non venisse ripetuta. Ma il moto dell'asse terrestre del quale trattiamo è costante, deve quindi essere in azione una forza permanente, che operi in quel senso sopra l'asse di rotazione terrestre. Questa risiede realmente nell'azione attrattiva speciale della Luna e del Sole su quelle masse terrestri che costituiscono attorno all'equatore il rigonfiamento della Terra schiacciata. Se questo rigonfiamento fosse disposto simmetricamente rispetto alle orbite della Luna e della Terra, allora non si verificherebbe alcun'influenza di quel genere; ma poichè l'asse terrestre forma un angolo coi piani di queste orbite

così una speciale azione attrattiva dei corrispondenti due astri deve tendere costantemente a disporre l'asse terrestre in guisa che ne derivi la posizione simmetrica. Noi non possiamo qui esporre la teoria, a mezzo della quale, non diversamente da quanto noi potemmo fare colle maree, si può dalle reciproche relazioni ricavare la grandezza dei movimenti della precessione e della nutazione, per paragonarla poi con quella realmente osservata; ma un confronto cogli esempi precedenti dimostra che coll'aiuto di essa si può dedurre o la grandezza dello schiacciamento della Terra, ovvero quando questo si riguardi come determinato con sufficiente esattezza a mezzo delle misure geodetiche, si può di nuovo ricavare la massa della Luna. Nei due casi si ottengono per quelle quantità dei valori concordanti molto bene con altri ottenuti per diverso cammino; nuova conferma della legge di Newton.

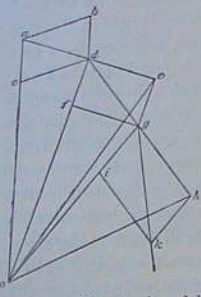


Fig. 274. — Dimostrazione del valore generale, detta seconda legge di Keplero, nei movimenti centrali.

Nei calcoli numerici istituiti finora circa la forza d'attrazione dei pianeti e della Luna, noi abbiamo dovuto fare astrazione dalla forma ellittica delle loro orbite, riguardandole come circolari. Soltanto in occasione delle due prime leggi di Keplero noi parlammo del movimento ellittico dei pianeti, e delle disuguaglianze che producevano. Ma l'astronomia teorica può dimostrare che anche quelle due leggi di Keplero, sono casi speciali della legge generale di Newton, così come lo si potè provare per la terza. Anche per la seconda legge di Keplero la dimostrazione è ancora semplice. Essa vuole che un corpo che si muove sotto l'azione di una forza centrale descriva col suo raggio vettore sempre aree uguali, in tempi uguali. Nella figura 274 sia ab la direzione e rappresenti la grandezza della velocità di un corpo, dato che questo si muovesse partendo da a senza subire l'azione della forza centrale emanante da o: questa poi, nel medesimo tempo faccia percorrere al corpo cadente il tratto da a a c, così che il corpo, secondo la ben nota regola del parallelogramma delle forze, si muoverebbe sotto l'azione concomitante del moto proprio iniziale e della forza centrale da a in d. Se la forza centrale cessasse in un dato momento di agire, il corpo, a cagione della forza d'inerzia dovrebbe procedere oltre da d fino in e, cosichè $ad = de$. In d il corpo si trova più vicino che in a al punto centrale o; esso quindi, cadendo liberamente, percorrerebbe nell'unità di tempo scelta il segmento df, che è maggiore di ac; non ci occorre qui determinare di quanto. Dal nuovo parallelogramma segue che il corpo si muove da d fino in g. Se la seconda legge di Keplero vale, i due triangoli oad ed odg debbono avere aree eguali, il che è facile a dimostrare. Un noto teorema di trigonometria piana dice che due triangoli che hanno basi di eguale lunghezza, un lato comune, debbono avere anche aree uguali. Ciò avviene nei triangoli oad ed ode. Ma anche triangoli ode ed odg hanno aree uguali, giacchè hanno basi ed altezze uguali, fg è parallelo ad ed. Con ciò si è dimostrato che l'area oad è uguale ad odg senza alcuna supposizione speciale sull'accelerazione della velocità di caduta coll'avvicinarsi continuo al corpo centrale. La stessa cosa si può senz'altro dimostrare per il triangolo ogk, nel quale l'altezza di caduta gi è divenuta notevol-

mente maggiore che al principio. Noi vediamo nel tempo medesimo che i segmenti percorsi ad, dg, gk divengono sempre più grandi.

In questo caso, a fine di scorgere meglio i rapporti geometrici considerati, abbiamo assunto un'azione saltuaria delle forze centrali e tangenziali che si trovano in giuoco. Rimpicciolendo convenientemente le proporzioni di triangoli ecc., le linee ad, dg, gk, e così via, riduconsi a formare una curva, la cui forma è differente a seconda delle forze attive, ma può essere determinata a mezzo dell'analisi matematica, quando sia dato il mutuo rapporto delle due forze. Intanto noi abbiamo già visto, che qualunque siasi la figura di questa curva, il raggio vettore di un corpo che si muova lungo essa, deve in tempi eguali descrivere aree eguali. Perciò è necessaria soltanto la supposizione, che il corpo si muova sotto l'azione di una forza centrale, che non occorre operi attraendo in ragione inversa del quadrato della distanza od in altro modo; la legge di Keplero avrebbe vigore anche per una forza repulsiva. Pertanto se cerchiamo negli sterminati spazi celesti conferme della legge di Newton, un corpo il cui movimento soddisfacesse alla seconda legge di Keplero, non ce ne fornirebbe alcuna.

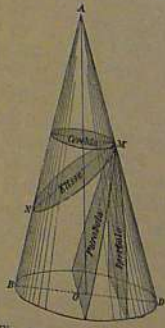


Fig. 275. — Sezioni coniche.

È evidente che per una data forza centrale, la forma della curva dipende dal rapporto della velocità tangenziale alla forza attraente del centro, cioè dal rapporto $ab : ac$ nella figura 274. Nel caso colà disegnato l'orbita del corpo si accosta al centro. Ma se noi avessimo preso ab molto più grande ovvero ac più piccolo, allora la diagonale ad potrebbe essere così disposta, che d sia assai più lontano dal centro di a; quindi secondo la legge di Newton noi avremmo potuto prendere df, più piccolo di ac, la curva allora si allontanerebbe sempre più dal centro. Noi potremmo continuare ulteriormente la rappresentazione grafica, e con un'esecuzione accurata a mezzo della riga e del compasso, trovare finalmente, che entro certi valori limiti del rapporto tante volte menzionato, si ottengono delle figure, che ove si arrotondino con una curva i vertici che si producono nella nostra costruzione, sono sempre ellissi. Se si oltrepassano questi limiti, aumentando ancora la velocità iniziale, si ottengono curve che non rientrano più in se stesse, cioè iperboli. Usando esattamente il valore limite, cioè un valore affatto determinato, e che fra gl'infiniti casi possibili si presenta una volta soltanto, del rapporto numerico tra la velocità tangenziale e la forza centrale, si ottiene una parabola, un altro rapporto numerico dà un circolo.

Tutte queste quattro curve, circolo, ellisse, iperbole e parabola, sono designate col nome comune di sezioni coniche, giacchè esse risultano quali sezioni di un cono retto, tagliato da un piano. Se il piano è parallelo alla base del cono, si ha un cerchio; se noi incliniamo il taglio, in guisa che pur percorrendo tutta la superficie del cono, disti dal vertice più da una parte che dall'altra, allora si ha sempre un'ellisse che si accosta tanto più al cerchio, quanto minore è l'angolo che il piano segante forma colla base. Ma però se quest'angolo diventa tanto grande

da rendere il piano segante parallelo al lato opposto del cono, di guisa che non possa più tagliarlo, allora si origina la parabola, che non è più una figura chiusa. Con un avvicinamento ancora maggiore del piano segante al primo lato del cono si originano finalmente delle iperboli. Si vede così che da un dato punto della superficie di un cono BAD, ad esempio M, si possono condurre infiniti tagli, che producono ellissi od anche iperboli, ma uno solo che produca un cerchio, ed uno solo che generi una parabola. Affinchè pertanto sotto l'influenza della legge di Newton si generi un'orbita circolare, tra la velocità tangenziale e la forza d'attrazione deve verificarsi esattamente il rapporto che noi abbiamo già determinato più avanti, cioè la gravitazione alla distanza corrispondente deve essere ugnale a $2r\pi^2 : u^2$. Un rapporto così assolutamente esatto, non s'incontra mai in natura; quindi non si ha alcuna orbita perfettamente circolare, e dato pure che un corpo celeste si muovesse per un istante lungo un'orbita di tale natura, egli ne sarebbe subito allontanato da altre influenze alle quali esso è sempre esposto, e delle quali dobbiamo ancora discorrere.

Pertanto nel sistema solare tutte le orbite chiuse dei corpi celesti sono ellissi. Se la forza di attrazione diviene maggiore di quello che sarebbe per l'orbita circolare considerata, allora evidentemente il corpo celeste si avvicina al Sole più che in un'orbita circolare. Se la forza d'attrazione continua a crescere non altrimenti che la velocità tangenziale, come si vede nel disegno della figura 274; allora si produce un'ellisse il cui punto di afelio è situato là ove comincia la deviazione dall'orbita circolare. Se all'opposto si aumenta la velocità tangenziale, il corpo si allontana dalla circonferenza del cerchio, e si ottiene un'ellisse che ha il suo perielio precisamente in quel punto. Quanto maggiore si assume la forza tangenziale nel perielio, i grandi assi delle ellissi derivate crescono costantemente in lunghezza, come si può facilmente vedere dal disegno. Finalmente il grande asse diviene di lunghezza infinita, cioè la forma chiusa si trasforma in quella aperta. Il valore limite del rapporto tante volte menzionato delle due forze contrarie, si può determinare matematicamente con precisione. Quindi se si è in condizione di determinare la velocità di un corpo durante il suo passaggio al perielio, ovvero in un'altra parte della sua orbita (giacchè da questa si può sempre concludere quella), noi potremo sempre assegnare la categoria di sezioni coniche alla quale appartiene l'orbita, ed in particolare poi se il corpo ritorna sopra un'orbita in sé rientrante, ovvero se, venuto dall'infinito, dovrà sprofondarvisi di nuovo.

Questo problema è particolarmente importante per l'orbita delle comete, giacchè noi possiamo studiare queste orbite soltanto durante il tratto relativamente breve, percorso da quei corpi durante il periodo di loro visibilità. Si tratta per ciò di decidere se, data la velocità osservata di questi corpi, essi siano penetrati come intrusi dallo spazio cosmico nel sistema solare, o se abbiano sempre fatto parte di esso. La questione, per quanto precede, si tratta matematicamente così, da poter decidere se la velocità tangenziale della cometa lasci conchiudere ad un ellisse, ovvero ad una parabola. Per questi corpi celesti una parabola è prevedibilmente improbabile, perchè questa figura, come quella del cerchio, costituisce un caso limite. Ma contrariamente a ciò risulta che, ad eccezione di alcune poche comete che corrono lungo ellissi nettamente dichiarate, il massimo numero di quegli astri descrivono orbite che durante il loro tratto visibile manifestano le

proprietà della parabola; ancora più rare delle orbite ellittiche sono le iperboliche. Quindi la forma che noi prevedemmo essere la più improbabile, è per contro di gran lunga la più frequente in natura; ciò richiede una spiegazione. In buona parte questa è fornita dalla considerazione, che molte ellissi ed iperboli si raggruppano appunto attorno a quel valore limite corrispondente alla parabola, e che quindi il tratto di esse a noi visibile, non si può coi nostri mezzi d'osservazione distinguere da un corrispondente segmento di parabola.

Il nostro disegno nella figura 275 può contribuire all'intelligenza di questa circostanza. Immaginiamo il cono generatore prolungato indefinitamente, ed inclinamo il piano MO che produce la parabola, solo di pochissimo rispetto ad MN, allora si ottiene di già un'ellisse, però con un grand'asse quasi infinitamente grande; quindi il brevissimo segmento dell'orbita qui disegnato, si sarà alterato soltanto in modo quasi impercettibile. La minima variazione ulteriore dell'inclinazione altera subito notevolmente la posizione del grand'asse, mentre però il tratto MO non ne riesce quasi punto modificato. Qui la cosa cammina come il movimento delle estremità di due braccia di leva molto disuguali; mentre l'estremo del braccio lungo percorre un cammino assai grande, il corto può apparentemente rimanere quasi immobile, almeno per i nostri mezzi ed apparecchi di misura. Quindi, innumerevoli ellissi, di asse maggiore sempre molto lungi e molto differenti possono, nel loro percorso, vicino al perielio, sembrarci parabole, e lo stesso avviene precisamente per molte iperboli. Con ciò è risolta la contraddizione colla probabilità, tanto più se si riflette che nell'enorme estensione dell'universo le orbite con assi grandi devono essere molto più frequenti di quelle meno ampie. Però il salto così repentino che in natura si verifica dalle ellissi relativamente ristrette delle comete periodiche, alle grandi ellissi od iperboli delle altre, richiede ancora una spiegazione speciale che daremo più avanti.

L'osservazione sola non ha permesso di decidere se le orbite delle comete siano realmente ellissi od iperboli. Laplace al suo tempo si era deciso in favore dell'iperbole, basandosi sopra un calcolo di probabilità, ma Schiaparelli scoprì negli sviluppi del grande matematico un errore che invertiva completamente, il risultato che assieme ad altre considerazioni, sulle quali ritorneremo parzialmente più tardi, lasciava con grande probabilità riconoscere nelle comete dei membri del sistema solare. In quest'ultimo caso il movimento di una cometa rispetto al Sole, sarà ad una distanza grandissima, ma finita, per un istante eguale a zero, e ciò durante il suo passaggio all'afelio. Per una parabola ciò avverrebbe teoricamente nel preciso istante del suo passaggio all'infinito; per l'iperbole, il corpo entrò già animato da una determinata velocità nell'ambito della forza d'attrazione del Sole, la cui azione acceleratrice si aggiunge ancora costantemente a questo movimento originale. Ora se questi ospiti fossero esistiti realmente negli spazi del mondo stellato, non si vede alcun motivo per il quale essi non dovessero giungere nella sfera d'attrazione del Sole con tutte le velocità altrimenti constatate in Cielo. Ma stando alle velocità osservate al perielio ciò non avviene. Noi siamo quindi in realtà autorizzati alla supposizione che le comete abbiano da tutti i tempi formato un tutto anche debolmente connesso colle rimanenti parti del sistema solare, entro il quale esse, con oscillazioni d'immane ampiezza, corrono costantemente dal perielio all'afelio e viceversa.

Per contro noi abbiamo già visto nel capitolo sulle meteore cosmiche, che si dànno corpi minuti, che talvolta precipitano sulla Terra con velocità iperboliche molto pronunziate; almeno, meteoriti relativamente numerosi mostrano dei movimenti, che rendono indubitabile, che essi siano altra volta penetrati dall'esterno nel sistema solare. Sarebbe d'altra parte molto curioso, se in cospetto delle costanti azioni scambievoli, che sussistono fra tutte le parti della natura, il sistema solare solo dovesse essere affatto chiuso, così che esso costituisse come una barriera, oltre la quale nessuna materia può penetrare nè uscire.

Per fissare nello spazio la forma speciale di un'ellisse planetaria o di una parabola cometaria (giacchè quasi esclusivamente in pratica si calcola con queste), si ha bisogno dei dati di certe costanti, che sono dette gli elementi dell'orbita. Per la parabola ne bastano cinque, per l'ellisse e l'iperbole sei. Prima di tutto occorre dare la posizione del piano nel quale si compie il movimento orbitale, rispetto ad un piano fisso normale, per il quale si sceglie sempre l'eclittica. Noi sappiamo già che la retta intersezione dei piani delle due orbite è detta linea dei nodi, e che si designa come primo elemento la longitudine eliocentrica del nodo ascendente, contata sopra l'eclittica. La si rappresenta col segno Ω. Questo valore assieme alla quantità i, l'angolo dei due piani, li fissa l'uno rispetto all'altro. Come terzo elemento si prende la direzione nella quale avviene la minima distanza del corpo, il perielio. Questa direzione si designa con π; oggidì suolsi per lo più dare la quantità $\pi - \Omega$, cioè la distanza angolare del perielio contata sull'orbita stessa dal nodo. Per le parabole si aggiunge ancora la minima distanza stessa q, e finalmente l'epoca nella quale il corpo è passato per il punto corrispondente, cioè l'istante del perielio T. Per le ellissi, invece di q, si assegna la lunghezza a del semi-grand'asse dell'ellisse ed il suo rapporto alla distanza del fuoco dal centro dell'ellisse, che è detta l'eccentricità e. Per le iperboli si dànno due grandezze geometriche corrispondenti, che qui non è il caso di definire, giacchè questo caso si presenta estremamente di raro nella pratica (*a*).

Tutti i pianeti si muovono sopra il Cielo in una medesima direzione, fra le comete se ne presentano di quelle con moto diretto, altre con moto retrogrado. Secondo quanto si faceva una volta, al sistema degli elementi, bisognerebbe per questi astri aggiungere ancora la direzione del moto. Ma di recente è invalso l'uso per le orbite a moto retrogrado di riguardarle come se fossero state sospinte oltre la perpendicolare all'eclittica dalla parte opposta a quella ove stanno, così che l'inclinazione del piano dell'orbita diviene maggiore di 90°, il che per la natura delle cose non è possibile per altri corpi. Per queste comete retrograde pertanto

---

(*a*) [Si avverta che l'angolo $\pi - \Omega$ è contato sull'orbita, Ω sull'eclittica, la loro somma π, che suolsi designare come longitudine del perielio, va distinto dalle ordinarie longitudini, perchè è composto di due angoli situati in due piani diversi (Klinkerfues). — Più spesso si indica con ω la distanza angolare del perielio dal nodo ascendente contata quindi sull'orbita, od il che è lo stesso, l'angolo formato dalla linea degli absidi colla linea dei nodi, così è fatto nell'*Annuaire du Bureau des Longitudes*. Nelle sue tavole il nostro autore chiama quest'angolo longitudine del perielio; che naturalmente è contata sull'orbita dal nodo ascendente. Per i satelliti ritiene questa definizione, mentre per i pianeti accetta la longitudine del perielio nel senso ordinario, cioè contata sull'eclittica. (O. Z. B.)].

invece di dare l'angolo i d'inclinazione fin qui usato si dà il suo complemento a 180°, col che si esprime senz'altro il loro moto retrogrado. Ma corrispondentemente a ciò, deve venir anche cambiato il modo di contare Ω e π.

È un problema molto facile quello di dedurre, per un qualsiasi istante, da quegli elementi la posizione di un corpo che circoli attorno al Sole, veduta dal centro di questo. Ora se dagli elementi dell'orbita terrestre si ricava anche la nostra posizione rispetto al centro del Sole, allora si può senz'altro trasportare il punto d'osservazione dal Sole sulla Terra, e fissare in qual direzione si trovi il corpo rispetto alla nostra stazione d'osservazione. Si presenta per contro molto più difficile la soluzione della questione inversa, cioè di trovare gli elementi dell'orbita di un corpo a mezzo di osservazioni fatte sulla Terra. Abbiamo già cercato di dare in quanto precede un'idea del modo tanto complesso col quale Keplero lo ha fatto per i movimenti dei pianeti. Era perciò necessario un gran numero di osservazioni del pianeta che si studiava, distribuite tutt'intorno al Cielo. Oggi l'analisi matematica è andata molto più avanti; noi possiamo giungere alla conoscenza di quelle costanti in modo molto più diretto. Strettamente parlando, stando alle regole generali dell'analisi, sarebbero a ciò necessarie soltanto tre osservazioni di un corpo, giacchè queste tre posizioni in Cielo, assieme alle tre epoche corrispondenti agli istanti dell'osservazione, si debbono introdurre in sei equazioni, nelle quali contemporaneamente compaiono i sei elementi sconosciuti dell'orbita, quando si tratti di un'ellisse.

Ma le sei corrispondenti equazioni fondamentali risultano così complicate, che la loro risoluzione non è finora stata data dalle matematiche. Qui, è necessario, come accade molto spesso nella pratica astronomica, di ricorrere a soluzioni indirette, il che si ottiene facendo prima alcune ipotesi arbitrarie sui veri valori degli elementi per indagare poi dopo averle introdotte nelle equazioni, fino a che punto giunga l'accordo colle osservazioni, e così poco per volta ci si vien sempre più accostando alla verità. Si può bene pensare che un tal procedimento era lungo e tedioso. Bene spesso occorrevano giorni e settimane di calcolo, finchè si avesse la fortuna d'imbattersi in valori ad un dipresso esatti. Soltanto al finire del secolo decimottavo il geniale medico di Brema, Olbers, che poi divenne un celebre astronomo, trovò un procedimento col quale un calcolatore abile poteva calcolare comodamente in alcune ore i cinque elementi dell'orbita di una cometa, quando fossero date tre osservazioni di essa. Il procedimento si fonda su ciò che fin dal principio si eliminano tutte le incognite fino a ridurle a due, che poi si riguardano come distanze della cometa dalla Terra, per due delle osservazioni utilizzate. Per queste distanze bisogna far subito qualche supposizione. Poichè l'esperienza insegna che le distanze delle comete durante il loro periodo di visibilità si mantengono entro certi limiti relativamente ristretti, così una prima assunzione di queste distanze non s'allontanerà di troppo dalla verità. Ma tra le due distanze che si considerano esiste una determinata relazione fornita dall'osservazione. Se essa non è soddisfatta dalla prima supposizione, bisogna farne una seconda e così di seguito, finchè la relativa equazione sia soddisfatta, il che poi si ottiene per mezzo di un calcolo diretto degli elementi. Per le orbite delle comete, le tre osservazioni forniscono in certo qual modo un'equazione superflua, giacchè si hanno soltanto sei elementi da determinare. Si può quindi fare una prova del computo, che attesta

qualche cosa di più dell'esattezza delle semplici operazioni numeriche, giacchè rappresenta di nuovo le tre osservazioni a mezzo degli elementi. Non è però necessario, neppure per calcoli completamente scevri di errore, che tutte le osservazioni siano esattamente riprodotte; ciò avverrebbe soltanto quando i luoghi osservati stessero realmente sopra una parabola, forma che per le comete è sempre presupposta. Se per caso si trova accidentalmente un divario, ciò può provenire da due cause: o le osservazioni non erano completamente esatte, il che non è difficile anche accada quando si tratta di comete appena scoperte e di splendore estremamente debole, che negli strumenti sono difficili a puntare; oppure la cometa si muove o lungo un'ellisse, o lungo un'iperbole ben definita. La grandezza del divario trovato, permette d'ordinario di decidere fra le due alternative.

Ma quando fin da principio, dopo la prima determinazione d'orbita, si presenta un divario spiccato dalla forma parabolica, non si usa di istituire alcun nuovo calcolo, giacchè le prime determinazioni d'orbita hanno soltanto per scopo di calcolare le così dette effemeridi per il nuovo corpo, nelle quali si dà preventivamente, per le prossime settimane, il corso apparente della cometa, affinchè in possibili lunghi periodi di cattivo tempo non la si perda completamente di vista. Poichè al perielio tutte le tre sorta di orbite si rassomigliano molto, così da uno scambio dell'una coll'altra non può in pratica provenire alcun equivoco dannoso. Gli astronomi si decidono soltanto ad una determinazione definitiva dell'orbita, quando la cometa è già scomparsa e si sono già riunite tutte le osservazioni fatte di essa nei vari punti della Terra.

È un lavoro poi molto lungo e pesante, sebbene teoricamente facile, quello di determinare quell'orbita che per tutte queste osservazioni rende minima la somma dei quadrati degli errori. A tal fine si esaminano dapprima ben accuratamente tutte le osservazioni; le posizioni delle stelle di paragone vengono possibilmente determinate ancora una volta al circolo meridiano, poi si ricalcolano di nuovo coi dati forniti direttamente degl'istrumenti le osservazioni liberate dagli effetti della rifrazione atmosferica, col che si ottengono poi le ascensioni rette e le declinazioni apparenti del nuovo astro. Queste debbono poi essere corrette per gli effetti della precessione e della nutazione, riferendole tutte all'equinozio medio del principio di un dato anno, cioè contando tutti gli angoli da quello. Inoltre gli istanti dell'osservazione devono essere ridotti a quelli nei quali la luce dipartissi dalla cometa, sottraendone l'equazione della luce, e cioè si ottiene a mezzo delle distanze approssimate della cometa, fornite dall'orbita provvisoria. Perciò si sceglie la migliore orbita nota fino a quel momento, si calcolano i luoghi esatti che quest'orbita fornisce per gl'istanti relativi, e si sottraggono dai luoghi realmente osservati. Si ottengono allora delle differenze tra l'osservazione ed il calcolo (O — C) che vengono ancora raggruppate diversamente per scoprire delle possibili particolarità speciali di ciascuno degli osservatori, che si rivelano col paragone di osservazioni istituite nei diversi osservatori, ad un dipresso nel medesimo tempo ed ottenere così dei punti di confronto fra le misure diversamente buone, secondo i quali le osservazioni vengono introdotte con diversi pesi nei calcoli ulteriori (*a*).

(*a*) [L'espressione *peso di un'osservazione* di una quantità è usata nel metodo dei minimi quadrati. Non è qui luogo a definirla. Ci basti avvertire che la parola *peso* è qui usata, come

Inoltre le differenze O — C, delle quali spesso se ne hanno centinaia, vengono combinate fra loro, così che ne rimane soltanto un numero relativamente piccolo, che apparterrebbero ai così detti *luoghi normali*. Queste ultime deviazioni normali in A. R. e D. vengono poi introdotte in altrettante equazioni contenenti ciascuna sei incognite, che si debbono risolvere col metodo dei minimi quadrati, e che forniscono le correzioni degli elementi ammessi, nonchè le loro incertezze probabili. In tutto ciò non si fece alcuna ipotesi preventiva sulla forma della conica; se dopo le correzioni l'eccentricità risulta minore di 1, allora l'orbita è un'ellisse della forma determinata richiesta dagli altri elementi: se l'eccentricità è ugnale ad 1, l'orbita rimane una parabola, mentre se $e > 1$, essa è un'iperbole.

Tutti questi calcoli vengono istituiti nella supposizione che la legge di Newton valga in modo assoluto, di non coercitivo vi è solo la forma della conica che ne segue. Per contro tutte le ricerche astronomiche hanno per iscopo di rintracciare se esista una qualsiasi deviazione da quel principio: ed in realtà si ha una verifica della nostra supposizione, in ciò che le deviazioni residue in ultimo, O — C, non devono essere maggiori di quanto sia consentito dall'incertezza generale dei nostri metodi d'osservazione. Ciò si è completamente constatato, per la massima parte delle comete fin qui studiate, ad eccezione di quei pochi casi dei quali tenemmo discorso nella Prima Parte di questo Trattato. Poichè le comete si mantengono in parte entro le loro orbite newtoniane con esattezza maggiore di quello che talvolta a noi faccia comodo; rimane d'altra parte completamente per noi senza spiegazione come quelle comete che s'avvicinano al Sole così da rasentarne quasi la superficie, non alterino le loro orbite. A nostro giudizio qui deve manifestamente verificarsi un meraviglioso conguaglio di due azioni opposte, delle quali l'una, la forza elettrica repulsiva del Sole, agisce del pari esattamente secondo il principio di Newton, ma però con segno contrario.

Finora abbiamo considerato i movimenti dei corpi celesti, come se ne esistessero sempre soltanto due, l'uno che agisce quale motore, mentre l'altro è il mobile. Ma in natura ciò corrisponde tanto poco alla realtà, quanto al principio di Newton, il quale afferma che ogni molecola attira ogni altra nello spazio. Quindi se da una parte la Terra è attratta dal Sole, e perciò deve descrivere la sua orbita, dall'altra anche il Sole deve venir costretto dalla Terra a descrivere un'orbita newtoniana, ed inoltre la Terra, il Sole e tutti gli altri pianeti debbono mutuamente influenzarsi. Quindi se la legge di Newton è esatta, le posizioni dei pianeti e delle comete trovate nei modi fin qui esposti, non debbono coincidere colla realtà, ed anche ciò si trova confermato in natura. Il corso di tutti i corpi celesti viene influenzato dalle così dette perturbazioni, delle quali già vedemmo alcune, trattando della Luna. Se nella realtà le deviazioni teoricamente necessarie si riscontrano piccolissime, ciò proviene da ciò che nel nostro sistema la massa del Sole è essenzialmente predominante sopra quella di tutti gli altri corpi. Consideriamo per un momento separatamente il sistema Sole-Terra, e designamo con M la massa del Sole, con m quella della Terra, e con r la loro

talvolta nel linguaggio ordinario, per importanza. — Il maggior o minor peso di un'osservazione è tale che questa ha maggiore o minore influenza, a seconda di quello, sul risultato finale. (O. Z. B.)].

distanza; allora, secondo la legge di Newton, avremo per la forza d'attrazione del Sole sopra la Terra $M : r^2$, e per quella della Terra sul Sole invece $m : r^2$. Poichè in virtù di queste due azioni, il raggio viene diminuito, così noi dobbiamo sommare le due equazioni, per ottenere il loro effetto complessivo. Quindi, nel calcolare il movimento della Terra dobbiamo, per procedere esattamente, adoperare non la formola $M : r^2$, come abbiamo fatto finora, ma bensì quella $(M + m) : r^2$. Ora noi abbiamo già trovato $M = 327.800$, ed a questa dobbiamo aggiungere ancora un'unità per tener conto dell'azione della Terra. Ma con questa intromissione della massa del corpo mobile, nel calcolo del suo movimento, la terza legge di Keplero non rimane più esatta. I quadrati delle durate delle rivoluzioni non stanno più fra loro esattamente come i cubi dei semi-grandi assi, giacchè per ogni pianeta s'introduce un fattore speciale che ne contiene la massa. Ora si troverà facilmente che invece della formola più semplice, che è fornita da quella legge, l'equazione fra la velocità media di un pianeta v e la sua distanza dal Sole a deve avere la forma: $a = \sqrt[3]{\frac{k^2(1+m)}{v^3}}$, dove k è una costante che vale per tutto il sistema e contiene il relativo rapporto per l'orbita terrestre Questa costante, dal suo calcolatore, il grande matematico ed astronomo Gauss, fu detta la costante di Gauss (V. fig. 276); essa è espressa dalla seguente relazione:

$$k = \frac{v\, a^{3/2}}{\sqrt{1+m}} = 3548'',188 \ (a).$$

Qui v è in secondi d'arco e per un giorno solare medio, a in distanze solari, quindi per il calcolo di k, eguale ad 1, m è data in parti della massa solare (*b*).

Benchè questa correzione sia necessaria anche per rapporto alla Terra, essa però a cagione della tenue massa di questa è molto piccola, ma diviene molto più ragguardevole per i pianeti maggiori e particolarmente per Giove e Saturno. Così, ad esempio, se ripetiamo il calcolo per Giove. una volta secondo le semplici leggi di Keplero, ed un'altra tenendo conto della sua massa, che risulta dai movimenti dei satelliti 1048 volte minore di quella del Sole, e prendiamo per v il valore, noto molto esattamente, di $299'',129$, allora si trova per la distanza di Giove dal Sole una differenza di $0{,}0016$ parti dell'unità astronomica. Questo divario è sempre ancora abbastanza debole, ma lo si può tuttavia ancora scoprire in pratica coll'applicazione dei nostri mezzi d'osservazione e dell'analisi matematica, soltanto non bisogna dimenticare che la terza legge di Keplero dà unicamente

---

(*a*) [La costante di Gauss espressa in parti del raggio, si ottiene dividendo il numero dato nel testo per $206264'',8$, col che si ottiene $k = 0{,}01720209895$, ossia ad un dipresso $^1/_{58}$. (O. Z.. B.)].

(*b*) [a è la distanza fra i centri dei due pianeti; giacchè questi avendo un diametro notevole, il dire semplicemente distanza fra i due pianeti, nulla significa. Si avverta però che in tutta la meccanica celeste, quale la costrussero Lagrange, Laplace, Poisson, D'Alembert, e recentemente Gylden, Newcomb e Poincaré, i corpi celesti vengono considerati come punti nei quali è concentrata la massa di ciascuno, od in altre parole, come centri di forza, dai quali l'attrazione emana proporzionalmente alla massa che vi si suppone concentrata. Ciò per quanto riguarda i movimenti generali dei pianeti. La forma dei pianeti viene poi introdotta nei calcoli per studiare le particolarità dei vari movimenti. (O. Z. B.)].

un'approssimazione al vero rapporto, che, soltanto a cagione della forte preponderanza della massa solare nel nostro sistema, è così ragguardevole.

A cagione dell'azione dei pianeti sul Sole, anche questo deve muoversi rispetto a quelli, essa descrive un'orbita attorno al comun centro di gravità del sistema.

Fig. 276. — Carlo Federico Gauss, nato a Braunschweig nel 1777, morto a Göttingen nel 1855. Da un quadro di C. A. Jensen.

Ora, poichè questo a cagione della progressiva variazione di luogo dei pianeti, a sua volta cambia, così l'orbita del Sole è molto intrecciata. Il calcolarla è uno dei còmpiti della teoria delle perturbazioni, delle quali ora dobbiamo occuparci.

Se la considerazione dell'azione reciproca di due corpi è relativamente facile, il problema diviene per contro enormemente difficile, non appena interviene un terzo corpo. Il problema dei tre corpi non è ancora stato risolto teoricamente in tutto il suo rigore. Noi ignoriamo lungo quale curva si muova un corpo che è sottoposto all'azione attrattiva di due altri secondo la legge di Newton; noi possiamo bensì porre senz'altro le equazioni corrispondenti, ma la loro risoluzione finora non è stata trovata dall'analisi. Quindi, anche in questo problema, noi dobbiamo ricorrere alla soluzione indiretta, ed in ogni caso speciale a mezzo di supposizioni successive sopra le incognite, cerchiamo di calcolare per approssimazioni successive la curva corrispondente. Per buona ventura nel sistema solare

riscontriamo condizioni assai favorevoli, giacchè i pianeti circolano attorno al Sole a distanze relativamente grandi. L'attrazione speciale esercitata da un pianeta

Fig. 277. — Pierre Simon Laplace, nato a Beaumont-en-Auge nel 1749, morto a Parigi nel 1827. Da un' incisione in rame eseguita in Francia.

sopra un altro si esprime naturalmente, non altrimenti della attrazione principale, colla formola $m : \rho^2$, nella quale ρ è la distanza dei due pianeti: ora poichè questa non può mai divenire piccola, così l'attrazione rimane sempre debole.

Noi possiamo farci di ciò un'idea assai chiara, determinando un valore massimo per l'azione perturbatrice del pianeta Giove sul suo vicino Marte. Supponiamo per un momento che il Sole, Marte e Giove si trovino sopra una medesima linea retta, di guisa che Marte occupi la posizione intermedia; allora la mutua distanza dei due pianeti è uguale alla differenza delle loro distanze medie dal Sole, cioè $5{,}203 - 1{,}524 = 3{,}679$. Quindi l'azione di Giove su Marte è

$$\frac{1}{1048 \times 3{,}68 \times 3{,}68} = \frac{1}{14.190}.$$

L'azione del Sole sopra Marte è uguale a

$$\frac{1}{1{,}524 \times 1{,}524} = \frac{1}{2{,}323}.$$

Dividendo l'uno per l'altro questi due risultati, si ha che la massima azione di Giove sopra Marte è ancora 6110 volte minore di quella del Sole. Però questa azione, coll'esattezza colla quale oggigiorno si tien dietro ai movimenti celesti, non si può per nulla trascurare. Pur troppo nello stato d'imperfezione dell'analisi matematica, già menzionato, il tener conto di tali azioni perturbatrici è una cosa molto gravosa; anche qui bisogna ancora procedere per via di approssimazione. Per trovare cioè l'azione della forza d'attrazione, occorre innanzi tutto conoscere la vera distanza dei pianeti fra loro ed anche le loro masse effettive; le distanze noi le possiamo subito calcolare soltanto coll'aiuto della legge di Newton, mettendo per un momento da banda le azioni perturbatrici degli altri pianeti, giacchè per via puramente geometrica, ad esempio con misure di parallasse queste distanze non si possono più determinare con sufficiente esattezza. Le distanze trovate sono quindi soltanto approssimate. Mentre ci serviamo di esse per calcolare le perturbazioni, dobbiamo badare che anche queste ultime debbono necessariamente riuscire errate, poichè anche le masse dei pianeti perturbanti adottate non possono venire esattamente calcolate dalle osservazioni, se non nella supposizione che ci siano ancora cognite esattamente le distanze. Ora poichè l'influenza di una supposizione errata sulle distanze si rimpicciolisce di molto per le perturbazioni calcolate, così con un metodo simile si può pur sempre essere sicuri che colla successiva ripetizione delle corrispondenti operazioni di calcolo, si ottiene il vero valore. Abbiamo già visto parecchi procedimenti simili indiretti, ai quali l'astronomo calcolatore deve nella massima parte dei casi ricorrere per accostarsi al suo scopo con sempre maggiore approssimazione.

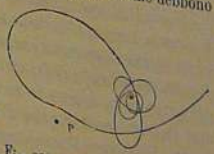


Fig. 278. — Movimento di una sfera d'acciaio sotto l'azione di due calamite.

Il movimento della linea degli absidi e di quella dei nodi è una conseguenza di questa speciale attrazione di un terzo corpo che, come vedemmo per il Sole e la Luna, si osserva in tutti gli altri corpi del sistema solare. Lo stabilire in questo caso la dipendenza da causa ad effetto è uno dei più complicati problemi dell'analisi. Laplace fu il primo che nella sua famosa *Mécanique céleste* svolse in modo magistrale tutte le conseguenze che scaturiscono dalla legge di Newton ed in particolare la teoria delle perturbazioni. A lui tennero dietro Gauss, Hansen, Gyldèn, e più recentemente il geniale direttore dell'Osservatorio di Parigi, Tisserand, troppo presto rapito alla scienza. Un interessante esperimento istituito nell'Urania di Berlino, mostra all'occhio l'azione corrispondente. Immediatamente sotto una lastra di vetro fu disposto il polo di un'elettro-calamita a forma di stanga, arrotondata superiormente in forma di emisfero. Facendo ruzzolare sopra la lastra di vetro una piccola sfera d'acciaio intinta nell'inchiostro di China, con una determinata velocità iniziale, la sfera disegnava sulla lastra dei tracciati che a seconda della velocità iniziale presentavano i caratteri di un'ellisse, di una parabola o di un'iperbole. Però a cagione dell'attrito sul vetro le curve si trasformavano ben presto in spirali che andavano ognor più restringendosi, finchè la sfera si riduceva al riposo sopra il magnete. Se sul disco di vetro si collocava un magnete più debole P in guisa che la sfera dovesse scorrere nelle vicinanze

di uno dei suoi poli, allora le sezioni ellittiche della spirale susseguentisi l'una l'altra mostravano un movimento molto forte della direzione del suo grande asse (vedi figura 278). Tali azioni della perturbazione, progredienti regolarmente, che fanno girare la longitudine del perielio e del nodo molto lentamente, ma regolarmente lungo la periferia dell'orbita, così che in migliaia d'anni possono assumere ogni valore tra 0 e 360 gradi, sono dette le perturbazioni secolari degli elementi, in opposizione alle *perturbazioni periodiche* delle quali abbiamo parlato fin qui, e che appaiono solo transitorie ed esercitate da un pianeta sopra un altro, quando vengono l'un l'altro accostandosi. In realtà le perturbazioni secolari non sono altro che la somma delle perturbazioni periodiche.

Per l'istoria del passato del nostro sistema e per la previsione del suo avvenire è importantissimo il conoscere alcune proprietà generali delle perturbazioni. I più elevati problemi della meccanica celeste si occupano delle indagini a ciò relative. I risultati di queste si possono riassumere in tre proposizioni: la prima che riguarda il moto progressivo dei perieli e dei nodi è già stata considerata. Il secondo teorema dice che le eccentricità e le inclinazioni delle orbite sono egualmente soggette a perturbazioni, che però oscillano sopra e sotto certi limiti ristretti, di guisa che un'orbita di debole eccentricità non può trasformarsi in una di elettricità pronunziata, oppure le inclinazioni delle orbite planetarie che presentemente sono di pochi gradi rispetto all'eclittica, non possono mai divenire essenzialmente diverse. Finalmente il terzo teorema dice: che in generale i semi-grandi assi e quindi anche i movimenti medi dei pianeti non sono soggetti a perturbazioni.

I due ultimi teoremi sono evidentemente d'importanza eccezionale per la conservazione dell'ordine nel nostro sistema. Dalle considerazioni fatte sui rapporti tra la posizione del Sole ed i climi della Terra, noi sappiamo quanto sia grande l'influenza che l'eccentricità e l'obliquità dell'eclittica esercitano su quelli. Quindi se entrambi quegli elementi andassero soggetti a grandi fluttuazioni, allora lo sviluppo progressivo della vita attraverso alle epoche geologiche, diverrebbe per ciò impossibile. Abbiamo già veduto, come soltanto le debolissime fluttuazioni del clima che sono prodotte fra gli emisferi terrestri Nord e Sud dal lento spostarsi del perielio, e che possono riguardarsi come cause probabili delle epoche glaciali, possano causare interruzioni brusche nell'andamento dello svolgimento della natura terrestre. La teoria dei movimenti celesti ne esibisce quindi la tranquillante assicurazione che, finchè nell'ordine del sistema solare non intervengano forze completamente sconosciute, quest'ordine non può venire turbato. Ancora più importante del secondo teorema, lo è il terzo sull'invariabilità delle distanze medie. Se esse fossero sottoposte ad una qualsivoglia influenza regolare, allora per la natura stessa della cosa, questa dovrebbe agire permanentemente nel medesimo senso; le distanze dei pianeti dal Sole dovrebbero quindi crescere o diminuire continuamente. Nel primo caso i pianeti verrebbero alla fine sospinti nelle fredde ed oscure regioni dello spazio cosmico, nell'altro precipiterebbero sull'ardente Sole, quando essi non fossero prima venuti a dar di cozzo l'uno nell'altro. La teoria dimostra irrefragabilmente che ciò non è possibile, finchè i loro movimenti sono regolati dalla sola legge di Newton. Fra i pianeti si stendono dei larghi intervalli, che pel mutuo bene li separano l'uno dall'altro.

L'invariabilità delle distanze medie è teoricamente connessa ad una condizione

che, per quanto noi possiamo vedere, è soddisfatta solo affatto accidentalmente nel sistema solare; cioè i pianeti non debbono avere durate di rivoluzione, i cui rapporti siano espressi da piccoli numeri intieri; cioè, ad esempio, un pianeta non deve avere una durata di rivoluzione che sia il doppio od il triplo di quella di un altro, ossia, come si dice in linguaggio tecnico, le durate delle rivoluzioni non debbono essere numeri commensurabili. Quando una tal condizione è soddisfatta solo approssimativamente, si manifestano già delle perturbazioni a periodi così lunghi, che esse si possono riguardare come progredienti secolarmente, e quindi possono avere per conseguenza degli accostamenti pericolosi. Si vede anche facilmente come allora debbano presentarsi tali effetti. Se, ad esempio, un pianeta si muove con velocità doppia di quella di un altro, allora le stesse mutue distanze dei due pianeti si ripresentano regolarmente nelle medesime direzioni, dopo ogni seconda rivoluzione dell'uno ed ogni singola dell'altro. Quindi i valori della perturbazione $m : \rho^2$ hanno entro questo periodo sempre ancora la stessa grandezza e direzione. Durante la minima distanza dei due pianeti, il pianeta perturbante sia ad esempio quello esterno, ed il perturbato, quello che si muove con velocità doppia, l'interno, ed entrambi possano originariamente descrivere orbite circolari. La perturbazione durante la congiunzione avvicina il pianeta perturbato all'altro, ed evidentemente viene allontanato dalla sua orbita circolare in guisa che qui ha la sua massima distanza dal Sole, di guisa che il perielio dista di 180° dalla congiunzione. Dopo una rivoluzione del pianeta interno, l'esterno si trova precisamente nella direzione del perielio dell'altro, mentre questo è di nuovo in afelio. Il pianeta perturbante agisce ora in senso perfettamente opposto a quello di prima, ma il pianeta perturbato dista da esso di un intiero diametro della sua orbita in più, l'azione è quindi molto minore. Il pianeta perturbato conserva quindi la direzione del suo perielio, e l'eccentricità sola è d'alquanto diminuita.

La vicenda si continua in simile maniera in tutte le rivoluzioni, così che l'eccentricità del pianeta perturbato deve crescere continuamente, finchè i due corpi s'incontrano nel punto di congiunzione. Non possiamo qui esporre come questi effetti accumulandosi abbiano influenza anche sulle distanze medie; basta l'accennare all'azione distruttiva di tali congiunzioni di due pianeti che ritornano regolarmente con una medesima longitudine eliocentrica. Se per contro le congiunzioni vedute dal Sole avvengono in direzioni diverse, di guisa che ogni punto dell'orbita corrispondente, nel corso di un determinato ciclo, possa subire la stessa azione, come esponemmo prima per un determinato punto, allora gli ingrandimenti dell'eccentricità si verificano anche successivamente lungo l'orbita, vale a dire la linea degli absidi viene lentamente portata in giro lungo tutta la circonferenza, come deve avvenire a termini del primo teorema addotto della teoria delle perturbazioni. Per contro non può più avvenire l'addizione degli effetti in una determinata direzione.

Per i due massimi pianeti del nostro sistema, Giove e Saturno, una tal pericolosa circostanza si avvera quasi. Due rivoluzioni di Saturno sono quasi eguali a cinque di Giove. Noi otteniamo infatti nel primo caso 21.518 giorni, e nel secondo 21.663; la differenza di 145 giorni è piccola in confronto di tutto il periodo. Quindi fra i due grandi pianeti hanno periodicamente luogo degli accostamenti, che raggiungono un importo assai ragguardevole, ma che nel giro

di 283,3 anni sono compensati da un aumento altrettanto grande della mutua distanza.

Una tale intromissione è facilmente avvertibile negli anelli di Saturno. L'autore potè a mezzo di un semplice calcolo mostrare, che la linea di confine e le note divisioni dell'anello si trovano a distanze dal centro di Saturno, alle quali le azioni perturbatrici dei satelliti di Saturno, sui corpi circolanti, devono sommarsi nel senso poc'anzi descritto. Il calcolo diede per una certa distanza una somma di effetti, che era bensì inferiore a quella concentrantesi sulle note linee di divisione, ma che sembrò ancora abbastanza energica, perchè qui fosse in certe circostanze visibile una linea di separazione. Ed in realtà ivi fu più tardi vista da Holden una linea di divisione. Se altre circostanze non avessero già imposto la supposizione, che gli anelli di Saturno constano di una quantità grandissima di piccoli corpuscoli, che si muovono come satelliti attorno al corpo principale, seguendo la legge di Newton, la coincidenza sopra esaminata delle linee di separazione, ne avrebbe offerto una dimostrazione completamente valevole. Una conferma di ciò la troviamo anche nell'avvicendarsi da una parte e dall'altra dell'anello della posizione eccentrica osservata della divisione di Encke. I perisaturni (cioè i punti di massima vicinanza a Saturno del corrispondente sistema di orbite di satelliti) dei corrispondenti sintomi delle orbite dei corpuscoli a cagione dei maggiori satelliti esterni sono sottoposti a perturbazioni secolari, che conducono le linee degli absidi, per tutto il sistema nei dintorni della divisione di Encke, in giro attorno a Saturno con velocità quasi eguale.

Le considerazioni precedenti sull'invariabilità dei semi-grandi assi delle orbite planetarie, e le loro relazioni alla commensurabilità delle durate delle rivoluzioni riposano sulle ricerche di Laplace. Le recenti ricerche più profonde di Gyldèn, Poincaré, Seeliger ed altri, hanno però reso di nuovo più che dubbiosa la validità assoluta di queste leggi. Ciò però, per molti rispetti, è di poca importanza per le nostre considerazioni, giacchè nell'ipotesi peggiore, per tutti i casi che possono presentarsi nel sistema planetario, si tratta di variazioni progressive di quell'elemento dell'orbita, di un valore così piccolo, che praticamente sussiste ancora il rapporto discusso. D'altronde noi vedremo, che altre circostanze debbono costantemente alterare le mutue distanze dei pianeti, di guisa che, astraendo dalle ricerche puramente teoriche, la stabilità completa del sistema planetario diviene un'impossibilità. Ritorneremo su ciò più avanti.

Per le comete, si verificano nel calcolo delle perturbazioni ben altre condizioni che per i pianeti. Noi sappiamo che questi corpi celesti entrano nel sistema solare da tutte le regioni dello spazio celeste, che quindi nessuna legge loro vieta di accostarsi quanto si vuole ad un corpo permanente del nostro sistema; laonde i valori delle perturbazioni possono assumere qualsiasi grandezza. Nel capitolo sulle comete, abbiamo già veduto che alcune di esse si accostarono ad esempio tanto a Giove, che la forza d'attrazione di questo cambiò completamente la loro orbita. La cometa di Lexell si cacciò in mezzo al sistema dei satelliti di Giove, e fu costretta a muoversi in un'ellisse ristretta, che più tardi, da un secondo incontro con essi, fu una seconda volta di tanto mutata, che la cometa fu avviata permanentemente fuori del nostro sistema. Tutte le 17 comete periodiche conosciute presentemente ripetono le loro ellissi relativamente piccole, a perturbazioni

particolarmente energiche, alle quali esse andarono soggette nell'accostarsi ad un pianeta, e nella massima parte dei casi possiamo, calcolando a ritroso, ritrovare non solamente il pianeta perturbante, ma altresì il luogo nel quale avvenne la perturbazione, e l'epoca dell'avvicinamento. La circostanza che tutte queste comete periodiche hanno un'inclinazione relativamente piccola rispetto all'eclittica, e coll'unica eccezione della cometa di Halley, hanno movimento diretto, ha suo fondamento in quelle relazioni coi pianeti. La teoria delle perturbazioni insegna in modo speciale che i corpi a moto retrogrado, non possono durare in un qualsiasi sistema, giacchè per essi, sotto tutte le condizioni, le perturbazioni si sommano; anche quando non si verifichino rivoluzioni di durate commensurabili. Non è quindi per nulla un mero caso, che i pianeti si muovano intorno al Sole tutti nella medesima direzione, ma una necessità imposta dalla legge di Newton. Tutte le comete retrograde descrivono orbite ad un dipresso paraboliche, nelle quali ciascuna ritorna una volta al Sole, dopo trascorse molte migliaia di anni. Le perturbazioni, che esse subiscono durante il breve lasso di tempo della loro prossimità al Sole, non alterano notevolmente la loro orbita.

Mentre le perturbazioni poterono cambiare in ellittiche, le velocità di alcune comete originariamente paraboliche, di guisa che i corpi corrispondenti, che divennero stabili nel nostro sistema, ora attraggono particolarmente la nostra attenzione, così quelle possono in date circostanze agire anche nel senso opposto, convertendo in iperboli le parabole originarie; col che questi corpi vengono per sempre lanciati fuori del nostro sistema. Così, se una cometa passa molto vicino a Giove, ma però un poco al di là del Sole, essa viene accelerata, e la velocità parabolica diviene iperbolica: giacchè mentre essa si accosta al Sole, l'attrazione di Giove si aggiunge a quella del Sole stesso. Per contro se il passaggio avviene fra il Sole e Giove, allora quest'ultimo scema la velocità della cometa verso il Sole, ed il moto parabolico si converte in ellittico. Del resto le poche comete iperboliche conosciute, non ricevettero mai questa velocità da una così fatta azione, giacchè le loro orbite non si accostarono mai sufficientemente ad alcun pianeta, da permettere di conchiudere a simili perturbazioni. Pertanto la nostra convinzione, che cioè queste poche comete al pari delle meteore con orbite iperboliche siano giunte dal di fuori nel dominio dell'attrazione solare, può pur sempre sussistere egualmente bene.

Per trarre dai movimenti celesti tutte le conseguenze della legge d'attrazione, noi dobbiamo ancora esaminare, quali azioni esercitino a loro volta le comete sopra i pianeti e loro satelliti, quando vi si accostano molto, giacchè noi sappiamo che la forza d'attrazione è sempre mutua. Ma nel capitolo intorno alle comete abbiamo già constatato, che tale azione delle comete sui corpi permanenti del sistema solare non è avvertibile, per quanto la prossimità fra questi e quelle sia stata talvolta grandissima. Noi possiamo da ciò concludere che la massa delle comete, che è proporzionale a quest'azione, deve, malgrado le gigantesche dimensioni dello spazio che essa riempie, essere estremamente tenue.

Ma non dobbiamo designare le comete, come i soli corpi che possano penetrare dall'esterno nel sistema solare. Già, descrivendo le conformazioni principali delle nebulose, vedemmo, che le particolarità di talune di esse, non si possono altrimenti spiegare che colla penetrazione di una massa estranea nella nebulosa.

Anche nel capitolo sulle stelle nuove, per spiegare certe manifestazioni, non ci rimase che questa supposizione dell'improvvisa intrusione di un corpo estraneo. Vedremo ben presto che tutte le così dette stelle fisse posseggono dei movimenti propri, i quali possono, benchè relativamente di rado, portare la stella che li eseguisce nella prossimità di un'altra, sulla quale e sui corpi celesti secondari che la circondano, essa può esercitare un'influenza che perturbi la stabilità del sistema. Di recente, W. Ebert ha discusso teoricamente la questione di quel che avverrebbe se un altro Sole penetrasse nel dominio del nostro sistema planetario. Come era prevedibile, i risultati di questa ricerca rivelano che rispetto ad un intruso così potente i pianeti non potrebbero comportarsi diversamente dalle comete rispetto ai pianeti. In date condizioni di distanza, l'attrazione di un Sole penetrato nel nostro sistema, può strappare intieramente un pianeta ai vincoli solari, così che esso venga lanciato nel vano dello spazio lungo un'orbita iperbolica, senza più seguire nè l'un Sole nè l'altro. Ciò equivarrebbe naturalmente all'estinzione di ogni vita organica su quel pianeta. In altre circostanze di posizione l'orbita di un pianeta dapprima ad un dipresso circolare verrebbe trasformata in un'ellisse fortemente eccentrica. Non è impossibile, che alcune orbite di stelle doppie molto eccentriche siano state prodotte a quel modo. Se però il movimento proprio del Sole nuovo arrivato, è così grande come lo si osserva generalmente, allora la corrispondente azione perturbatrice, trascorre del pari rapidamente e la sua sfera d'azione è assai ristretta. Nel caso considerato da Ebert di un pianeta distante dal Sole di $1{,}_{20}$ distanze solari, che viene intieramente staccato dal sistema, le perturbazioni producono sopra un altro pianeta posto alla distanza $0{,}_{72}$ solo un allungamento della durata della rivoluzione da 223 a 230 giorni, e trasformano l'orbita circolare in un'ellisse con un'eccentricità di $0{,}_{183}$.

L'approssimarsi però di una simile catastrofe dell'intrusione di un secondo Sole nel nostro sistema, si annunzierebbe, nello stato attuale delle misure astronomiche, senza dubbio, migliaia d'anni in precedenza, anche quando quel Sole fosse spento. Giacchè le perturbazioni secolari delle orbite dei pianeti, dovrebbero alterarsi in modo avvertibile in causa dell'influenza del corpo estraneo che viene accostandosi, anche quando fosse ancora assai lontano. Sarebbe un lavoro rimunerativo per l'astronomia, lo studiare anche da questo punto di vista le conseguenze della legge di Newton, il che finora non è stato fatto.

Ma la più splendida conferma della legge di gravitazione fu fornita dalla scoperta teorica del pianeta più esterno del nostro sistema, Nettuno. L'esistenza di questo pianeta fu dedotta dall'impossibilità di spiegare unicamente coll'attrazione del Sole e degli altri pianeti il movimento del suo vicino più a noi dappresso; si fu quindi la deviazione di un movimento dalla legge di Newton che condusse ad un trionfo di essa. Urano, quell'indocile pianeta, fu scoperto da Herschel nel 1781. Di poi si era con cura tenuto dietro al suo movimento, e si era constatato di non riuscire a portare sopra una medesima ellisse le antiche e le nuove serie d'osservazioni, ammettendo solo che essa variasse per perturbazioni prodotte da pianeti a noi più vicini. Queste deviazioni, nel 1830 ammontavano già a 15 o 20″, e si era formulata la congettura, che queste differenze fra il calcolo e l'osservazione potessero essere cagionate da un astro che si trovasse al di là. Nel 1840, questa congettura era per Bessel divenuta certezza. Con spirito pro-

fetico egli scriveva allora ad Alessandro di Humboldt, che verrebbe un tempo, in cui la soluzione del mistero di Urano verrebbe fornita da un nuovo pianeta. Alcuni anni più tardi, Mädler scrisse nella sua *Astronomia popolare*: " Se si fosse stati in possesso di osservazioni esatte di Saturno, durate per una lunga serie di anni, allora sarebbe stato possibile di scoprire Urano a mezzo di combinazioni analitiche, prima che Herschel lo trovasse. Viene ora spontaneo il trasportare questa conclusione da Saturno ed Urano ad un membro più lontano e di conchiudere all'esistenza di un pianeta posto al di là di Urano e che lo perturba. Per fermo, si può nutrire la speranza, che un giorno l'analisi festeggierà questo altissimo fra i suoi trionfi, e che coll'occhio dello spirito farà delle scoperte in regioni, nelle quali finora la vista umana non ha potuto penetrare ".

La scoperta del nuovo pianeta era quindi in certo qual modo nell'aria. Non dobbiamo quindi meravigliarci se verso la metà del 1840, due teorici si siano, contemporaneamente ed indipendentemente l'uno dall'altro, accinti a risolvere il difficile problema, valendosi dei pochi valori delle perturbazioni degli elementi praticamente trovati, onde scoprire la posizione del corpo perturbante. Quei due matematici erano Adams in Cambridge (Inghilterra) e Leverrier in Parigi. Da quanto precede si può facilmente intendere che quelle differenze O—C si possono spiegare senza assunzioni speciali, con innumerevoli sistemi di elementi, giacchè il fattore perturbante $m:\rho^2$, può avere sempre un determinato valore, quando si scelga ρ corrispondentemente, ovvero reciprocamente; in altre parole, il corpo perturbante potrebbe essere ad una grande distanza e possedere una massa ragguardevole, oppure anche essere di tenue massa ma assai vicino. Quindi per necessità occorreva fare una supposizione arbitraria sulla grandezza di una di queste quantità. Ad essa condusse immediatamente la legge detta di Bode e Titio, riguardante le distanze medie dei pianeti, e che ebbimo già occasione di menzionare trattando degli asteroidi. Questa legge è in modo notevole soddisfatta dalle distanze dei pianeti fino allora conosciuti, benchè per l'esistenza di essa non si possa ricavare dalle leggi naturali alcuna imprescindibile necessità. Da essa risultò per la distanza del cercato pianeta sconosciuto $0{,}4 + 2^7 \times 0{,}3 = 38{,}8$ unità di distanza solare. Però Leverrier introdusse nei suoi calcoli soltanto 36 di queste unità, come distanza media del nuovo pianeta. Dopo che le formole di perturbazione furono conformate in guisa da adattarsi al nuovissimo problema, Leverrier, con più di 300 deviazioni delle posizioni di Urano osservate da quelle calcolate, formò 33 equazioni di condizione, dalle quali ricavò gli elementi dell'orbita del pianeta sconosciuto, a mezzo del metodo dei minimi quadrati. Egli aveva in ciò fare da tener presenti cinque incognite; da una parte egli aveva trascurato intieramente l'inclinazione dell'orbita del nuovo pianeta, che però al pari di quella degli altri doveva essere molto piccola, dall'altra parte egli dovette introdurre come incognita la massa del pianeta, che altrimenti, nella deduzione di un sistema di elementi può venir in principio trascurata. Egli trovò quella massa 9322 volte inferiore a quella del Sole. Nella supposizione che la densità del pianeta cercato sia uguale a quella di Urano, egli potè anche trovare facilmente il volume del pianeta cercato, e quindi anche qual diametro apparente dovesse avere, se visto dalla Terra. Egli diede per quel diametro $3''{,}3$, donde si conchiudeva che l'astro doveva essere dello splendore di una stella tra l'ottava e la nona grandezza.

Coll'ammettere l'azione di questo nuovo pianeta sopra il movimento di Urano, sparirono le differenze col calcolo prima esistenti, fino ad errori di 3″ al massimo, irregolarmente distribuiti. Poichè si possedevano tutti gli elementi, Leverrier era anche in caso di predire per un istante qualunque la posizione in Cielo del corpo ancora sconosciuto.

Adams procedette in modo perfettamente analogo. Egli ammise per la distanza 38 unità astronomiche, ed in correlazione ottenne elementi diversi da quelli di Leverrier. Gli errori residui erano nei calcoli di Adams ancora minori che nei risultati dello scienziato francese.

Come si può facilmente comprendere i due investigatori erano ansiosi di verificare, se il corpo congetturato si trovasse anche realmente e si potesse scoprire nella direzione da loro assegnata. Ciò non si poteva stabilire immediatamente. Sebbene il corpo, dato che possedesse realmente la lucidità attribuitagli, fosse accessibile ad ogni cannocchiale di mediocre grandezza, non si poteva subito distinguere da un'altra stella fissa, giacchè in ogni caso il suo disco planetario doveva essere molto ristretto. Ma di stelle di nona grandezza havvene in cielo un numero così grande, che fino a quei giorni, non tutte, per fermo, erano state registrate nei cataloghi o disegnate sulle carte celesti, di guisa che non era possibile in una data regione il distinguere una stella che non vi appartenesse dalle altre, se non riconoscendo il suo movimento planetario; ma questo per un corpo situato così lontano era naturalmente molto piccolo.

Al fine di rintracciare il nuovo corpo, Adams si era rivolto a Challis, direttore dell'Osservatorio di Cambridge, e questi difatti scandagliò la regione indicatagli il 4 ed il 12 agosto 1846, al circolo meridiano. Per verificare se il pianeta fosse fra quelle osservazioni, bisognava calcolare le ascensioni rette e le declinazioni di tutte le stelle per i due giorni d'osservazione; se nell'intervallo una di essa aveva tramutato loco in modo congruo, quella doveva essere il pianeta. Challis non si curò di eseguire subito i calcoli relativi. Frattanto Leverrier si era rivolto ad Encke, allora direttore dell'Osservatorio di Berlino, pregandolo a voler confrontare la regione del cielo della quale si trattava con una carta celeste di essa, disegnata in Berlino e non resa ancora di pubblica ragione, per vedere se vi si ritrovasse il supposto corpo. Nella notte stessa del giorno, nel quale era pervenuta la lettera di Leverrier, il 23 settembre 1846, Galle, allora assistente all'Osservatorio di Berlino, vide il corpo cercato distante di meno di un grado dalla posizione additata dal calcolo. Nelle notti seguenti si potè determinare il suo movimento, e quindi svanì ogni dubbio circa l'essere desso il corpo cercato.

Non appena giunse in Inghilterra la notizia di questa scoperta che rimane unica nella storia dell'Astronomia, Challis istituì le riduzioni delle sue osservazioni, e riconobbe con non piccolo dolore, che egli aveva inconsciamente veduto quel corpo il 4 ed il 12 agosto, cioè un mese e mezzo prima di Galle, e che si era solo a cagione della sua negligenza, che la fama, che doveva essere compagna ad una simile scoperta, venisse in molto maggior misura a Leverrier, che non al suo compatriota Adams. E sì che i calcoli di questi erano stati condotti a termine prima di quelli del Francese, ed avevano fornito inoltre una posizione del pianeta concordante un pochino meglio colla realtà. È quindi ingiusto, come si è tentato di fare specialmente da parte dei Francesi, di negare ad Adams ogni

merito nella scoperta di Nettuno a causa di quel disgraziato incidente, e di volerlo mettere completamente in ombra (*a*).

La determinazione dell'orbita del nuovo pianeta dopo la sua scoperta diede d'altronde un semi-asse molto minore, di quelli assunti dai due calcolatori; cioè soltanto 30 distanze solari invece di 36 e 38 rispettivamente. Nettuno s'allontana quindi molto dalla regola di Bode-Titio, che è ad un dipresso soddisfatta dalle distanze medie degli altri pianeti. In conseguenza di quella falsa assunzione sulla distanza mutua dei pianeti perturbante e perturbato, anche gli altri elementi dell'orbita ottenuti col calcolo dovevano essere errati. Quindi in questa scoperta il caso ha avuto una parte non indifferente. Con tutto ciò non dobbiamo negare ai due pensatori, che ad ogni modo hanno teoricamente risolto il problema, la nostra ammirazione.

La durata vera della rivoluzione di Nettuno ammonta a 163,7 anni; pertanto dall'epoca della sua scoperta, il nuovo pianeta non ha ancora percorso la terza parte della sua orbita. Frattanto Urano si è da lungo tempo allontanato dalla sua massima vicinanza, e d'allora in poi non mostra alcuna deviazione dalla teoria, che non si possa spiegare colla legge della gravitazione universale. Gli effetti della massa di Nettuno poterono quindi venir misurati accuratamente e non si trovò ciò facendo nulla di essenziale da correggere, anche da che colla scoperta di un satellite di Nettuno si potè determinare quella medesima massa meglio che coll'azione sopra Urano. Lo stesso movimento di Nettuno sembra fino ad oggi soddisfare senza alcuna eccezione alla legge della gravitazione universale. Malgrado ciò sarebbe precipitato il conchiudere che al di là di Nettuno non esiste più alcun pianeta, prima che il nuovo pianeta abbia percorso una volta l'intiera sua orbita, giacchè può darsi che tale estremo pianeta del nostro sistema si trovi in una direzione tale da venire a trovarsi in congiunzione con Nettuno solo in tempi futuri, nei quali soltanto le azioni perturbatrici possono addizionarsi fino a raggiungere valori notevoli.

Frattanto si ebbero indizi di un tal pianeta al di là di Nettuno da parti affatto diverse: molte orbite di comete, che mostrano una ragguardevole ellitticità, benchè

(*a*) [A tutti gli storici della scoperta di Newton, non altrimenti che al nostro autore, è sfuggito un fatto curiosissimo, quello di un valente astronomo francese, che nega a Leverrier ogni merito in quella scoperta per attribuirlo a due altri francesi anteriori a quest'ultimo. Questo francese è Emanuele Liais, astronomo all'Osservatorio di Parigi. Egli ha esposto il suo modo di vedere sulla scoperta del pianeta Nettuno nelle seguenti pubblicazioni: '*Remarques sur les méthodes de calcul employées pour la découverte de la planète Neptune. Echo du Brésil*, 1860: *Rivista Brasileira, 1860.* Il signor Liais fu direttore dell'Osservatorio di Rio-Janeiro. Espose poi in disteso la sua opinione nell'opera: *L'espace céleste* (1866): questo pregevolissimo trattato è presentato al pubblico da una prefazione di Babinet, astronomo francese di molto grido e membro dell'Istituto di Francia.

Liais vuole dimostrare che la *scoperta geometrica di Nettuno* è dovuta ad Alexis Bouvard, come quella ottica è dovuta a Galle. Egli ha per Leverrier delle parole severissime, e per il suo lavoro dei deprezzamenti e dei biasimi non meno energici. Tanto per la storia, non è qui il luogo, nè nostra intenzione l'indugiarci su questo argomento. Certo è che sotto parecchi aspetti, le pagine di un libro di Liais, con prefazione di Babinet, non avrebbero dovuto essere così intieramente ignorate dai moderni storici dell'astronomia. Oh la storia, la storia!

(O. Z. B.)].

i corpi che le percorrono siano passati, a conoscenza nostra, una volta sola per la loro massima vicinanza al Sole, posseggono tali proprietà, che si può pensare che la loro ellitticità sia stata prodotta dalla perturbazione di un pianeta, che dista dal Sole circa una volta più di quanto ne dista Nettuno. È però molto dubbioso, che l'uomo possa mai essere in condizione da scorgere coll'occhio del corpo, un tale astro, anche quando, come avvenne per Nettuno, lo avesse scoperto con quello dello spirito; per lo meno un corpo della grandezza di Nettuno, a quella distanza, non potrebbe venir scoperto coi nostri mezzi ottici odierni. Noi possiamo quindi riguardare con fiducia Nettuno come la sentinella del nostro sistema planetario, più avanzata nello spazio.

La scoperta di Nettuno è il primo passo dell'astronomia dell'invisibile, che di poi ha mietuto molti allori in tanti altri campi delle ricerche astronomiche. Leverrier stesso tentò di aggiungere ancora un paragrafo a questo interessantissimo capitolo dell'istoria delle scoperte dell'intelletto umano, quando nell'ammasso di numeri che abbiamo designato con O—C, cercò di scoprire dal suo scrittoio un pianeta intramercuriale: così non rimarrebbe più un buco vuoto in tutto il sistema planetario. Era ben possibile che qui, ancora più vicino al Sole che il più prossimo fra i pianeti conosciuti fino allora, esistesse uno, o più corpi piccoli, che si nascondono costantemente nei raggi solari, come fa Mercurio durante una gran parte del suo percorso. Ora un tal pianeta non poteva rivelarsi che per la sua azione attrattiva: si credette di aver accenni reali di esso in passaggi davanti al disco del Sole, di problematici corpi oscuri. Già sappiamo che Mercurio e Venere si mostrano nei loro passaggi davanti al Sole, come piccoli dischi oscuri, che si muovono molto più rapidamente delle macchie solari oscure del pari, ma che impiegano 14 giorni per giungere da un lembo del Sole all'altro, mentre i passaggi dei pianeti si compiono in poche ore. Quindi anche nel pessimo dei cannocchiali o ad occhio nudo, non sarebbe possibile lo scambiare l'uno per l'altro i due fenomeni. Ora avvenne che alcuni osservatori credettero di aver visto passare eccezionalmente davanti al Sole un punticino nero, quale appaiono di frequente le macchie solari, ma con velocità planetaria. I casi però furono molto rari e di natura non bene accertata. Giova qui avvertire, che anche quando si osservassero tali passaggi, essi non proverebbero per nulla l'esistenza di un pianeta intramercuriale; anche meteore abbastanza grandi, quali se ne trovano certo a milioni nello spazio planetario, possono produrre quest'apparenza. Infatti non di rado si osservarono ai giorni nostri dei corpi oscuri passanti innanzi alla Luna: essi mostrano ad ogni modo che fuori dell'atmosfera esistono corpi meteorici molto più grossi di quelli che col loro splendore si siano a noi fatti noti penetrando nell'atmosfera.

Ora il movimento di Mercurio mostrò e mostra oggi ancora degli scarti dalla teoria che potrebbero anche venir spiegati colla presenza di un tal pianeta intramercuriale. Il decidere intorno a ciò è però molto più difficile per questa regione del sistema solare, che non per quelle più esterne, poichè i pianeti che si trovano al di là dell'orbita terrestre sono tutti forniti di satelliti, i cui movimenti ci dànno delle nozioni molto esatte sulle masse di quelli. Ma Mercurio e Venere non posseggono alcun compagno, quindi le loro masse non si possono ricavare che dalle loro perturbazioni reciproche, il che si fa per lo meglio, non a mezzo

delle perturbazioni speciali, ma di quelle secolari, che si esprimono nei movimenti delle linee degli absidi e dei nodi. In particolare poi il problematico corpo, che ad ogni modo dovrebbe muoversi molto rapidamente entro l'orbita di Mercurio, potrebbe non rivelarsi con perturbazioni speciali, come nel caso di Nettuno. Se ora sulle perturbazioni secolari di Mercurio agisse ancora un corpo sconosciuto, questo avrebbe subito soltanto la conseguenza, che la massa di Venere, che su di esso agisce in modo principale, verrebbe calcolata erroneamente. Quindi poi questo valore inesatto della massa di Venere non varrebbe più a chiarire sufficientemente le perturbazioni secolari dell'orbita terrestre, che a loro volta derivano in via principale dall'attrazione di Venere. Per trovare finalmente questa differenza, bisogna determinare esattamente le azioni di tutti gli altri pianeti sul movimento della Terra e così di seguito. Noi vediamo così che la questione di trovare un tal pianeta interno a mezzo delle sue perturbazioni sopra Mercurio è molto laboriosa, necessitando delle congrue ricerche sui movimenti di tutti i pianeti interni. Leverrier, sebbene non in particolar modo a tal fine, compilò delle tavole planetarie esatte, che permettono di determinare tabularmente i movimenti dei pianeti Mercurio, Venere, Terra, Marte e parzialmente anche di Giove e Saturno, tenendo conto delle loro azioni reciproche. Così da un lavoro di diecine d'anni risultò un'opera che farà epoca in astronomia.

Dopo questo nuovo riordinamento del sistema planetario, nel quale anche tutte le masse dei pianeti vennero determinate a nuovo, rimasero pur sempre residue delle deviazioni del movimento di Mercurio non spiegate; che Leverrier credeva di non poter spiegare altrimenti che coll'esistenza di un pianeta intramercuriale al quale egli diede il nome di Vulcano. Questo corpo però, malgrado la diligente ricerca che se ne è fatta, non si è potuto finora trovare. Abbiamo già ricordato, che in occasione di un'eclisse di Sole, Watson credette di aver visto due corpi, che potevano valere come tali pianeti (Leverrier aveva espresso la possibilità di un intiero anello di tali corpi intorno al Sole), ed abbiamo aggiunto che assai probabilmente si trattava di un errore.

Se i calcoli di Leverrier rispetto a questo problematico pianeta od anello di pianeti nell'immediata vicinanza del Sole, fossero scevri di obbiezioni, il non aver trovato traccia di essi non sarebbe una ragione per dubitare della sua esistenza. Ma realmente l'astronomo francese non potè ai suoi tempi ancora introdurre nei suoi calcoli complicatissimi un numero sufficiente di osservazioni certe, per dedurne con sufficiente sicurezza tutte le quantità agenti contemporaneamente. In questi ultimi tempi l'americano Newcomb, si è di nuovo accinto al gigantesco lavoro, di determinare intieramente gli elementi dei quattro pianeti interni e le loro variazioni secolari, in base alle osservazioni, ed a tal scopo egli dedusse di nuovo contemporaneamente tutte le altre costanti astronomiche da introdursi nei calcoli, quali la parallasse solare, la precessione, la nutazione, la parallasse della Luna e la sua massa, che hanno influenza sul movimento della Terra, l'aberrazione della luce della quale dobbiamo ancora discorrere, l'equazione della luce, ecc. Questo lavoro non è ancora comparso intieramente, ma Newcomb ha pubblicato un sommario dei risultati, dal quale risulta che il movimento del perielio di Mercurio mostra ancora sempre uno scarto dalla teoria, che in un secolo ammonta a 40″. Questo deviamento è senza dubbio reale, cioè non è spiegabile con un concorso

di errori d'osservazione. Per contro i movimenti dei perieli di Venere, Terra e Marte coincidono colla teoria in un secolo fino ad 8.6 ed 8″. Valori che stante il loro valore probabile possono essere riguardati come inerenti all'incertezza del calcolo; con una restrizione per il numero dato per Marte, che è pur sempre di una volta altrettanto grande quanto il suo valore probabile.

Risulta quindi che tutti i pianeti, tranne Mercurio e Marte, ubbidiscono rigorosamente alla legge della gravitazione universale. Tuttavia oggidì si è meno propensi ad ascrivere questa deviazione di Mercurio ad un pianeta intramercuriale, giacchè per il pianeta Mercurio, che occupa una posizione speciale, si possono congetturare molte altre azioni. Ritorneremo ancora su questa questione, non appena avremo più estese cognizioni sulle circostanze che vi si riferiscono.

Ma la deviazione dalla teoria che ancora sussiste per Marte, ha condotto a supporre che nella regione tra Marte e Giove, nella quale circola la schiera dei piccoli pianeti, esistano masse ancora molto più considerevoli di quelle scoperte fino ad ora, e che, secondo ogni probabilità, contenga ancora complessivamente altri planetoidi da trovarsi. Oltre Newcomb, anche Paolo Harzer si è occupato della questione dello spostamento secolare del perielio di Marte tuttora inspiegato, ed ha trovato un valore triplo di quello del primo. Secondo Harzer la massa perturbatrice è uguale ad 1 : 2.000.000 della massa del Sole, il che equivale ad una volta e mezzo la massa di Marte, ossia tredici masse lunari. Ora si può fare un estimo delle masse di tutti i piccoli pianeti finora scoperti complessivamente, che non si allontani di soverchio dalla verità, sebbene le attrazioni speciali di questi corpi non possano venir determinate mediante l'osservazione diretta. — Secondo le misurate e riportate a suo tempo, il più lucente degli asteroidi Cerere, ha un volume di 272 milioni di chilometri cubici; gli altri tre più lucidi piccoli pianeti, Vesta, Pallade e Giunone oltre 258, e secondo misure fotometriche finalmente i rimanenti 373 asteroidi considerati sommano i loro volumi a 257 milioni di chilometri cubici. Se ora si ammette che la densità di questi corpi sia eguale a quella della Luna, si ottiene per la massa complessiva di tutti questi corpi $^1/_{27}$ della massa della Luna, cioè un valore 350 volte minore di quello che segue dalle perturbazioni di Marte. Quand'anche si assumesse per densità di quei corpi, quella del platino, e si prendesse il valore delle perturbazioni, secondo Newcomb, tre volte minore, di quello posto fin qui a base di questa trattazione, i due risultati rimarrebbero pur sempre irreconciliabili. Per contro, l'esperienza acquistata fin qui dimostra che è del tutto improbabile, che si possa scoprire nell'anello degli asteroidi, un numero di essi abbastanza grande, da poter coprire il difetto di massa. Quindi si deve tanto più ammettere che la massa perturbante esista ivi in distribuzione minuta, quasi anello di polvere della natura dell'anello di Saturno. Vedremo più tardi, come questa congettura getti un utile sprazzo di luce sulle nostre considerazioni intorno all'istoria dell'evoluzione degli astri.

Dopo aver constatato che i movimenti dei corpi del sistema solare, dei quali si può tenere esattamente conto, si trovano d'accordo colla legge della gravitazione universale, tranne pochi casi mal certi, è interessante il verificare, se si possono trovare conferme di questa legge fondamentale anche nelle altre regioni dell'universo accessibili al nostro sguardo. Abbiamo già in esse riscontrato delle stelle che compiono movimenti di rotazione l'una attorno all'altra. Come si può

facilmente comprendere questi movimenti furono studiati nel modo più esatto possibile; si istituiscono determinazioni delle orbite di stelle doppie, come si calcolano orbite di comete. Ma i movimenti reciproci di queste stelle così distanti, ci appaiono così deboli, che nella determinazione dell'orbita, gli errori inevitabili d'osservazione, acquistano un'importanza ragguardevole. In tale determinazione bisogna prima cominciare a ragguagliare graficamente le osservazioni; cioè a rappresentarle rispetto ad un dato sistema di coordinate, ed a collegare con un tratto curvilineo continuo i punti che le rappresentano, come vedesi disegnato nella figura 279. In ogni caso, di sistemi di due sole stelle visibili, si vede che riguardando

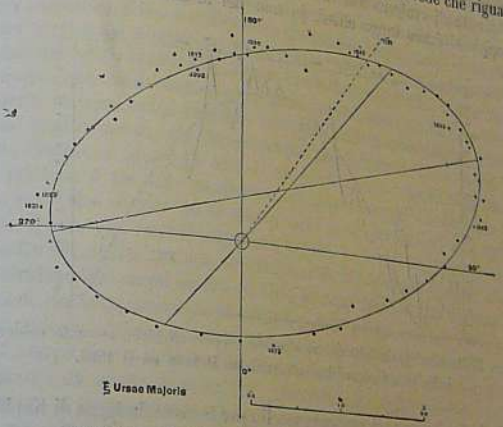


Fig. 279. — L'orbita della stella doppia ξ Ursae Majoris.

una delle stelle come fissa, quella curva è molto simile ad un'ellisse. Ma la stella non si trova più nel fuoco della curva apparentemente descritta dall'altra, come si sarebbe all'incirca potuto congetturare, giacchè in questo caso noi vediamo l'ellisse dell'orbita vera sotto un angolo che è arbitrario per ciascuno di questi sistemi lontani e che deve prima essere determinato. In queste condizioni, un circolo può benissimo, come è noto, apparire come un'ellisse molto schiacciata. Se l'astro centrale si trovasse nel centro di un tal cerchio, esso starebbe ancora al centro di tutte le ellissi, che possono generarsi in causa della proiezione sotto differenti angoli della visuale, sotto i quali può essere visto questo cerchio.

Pertanto se noi avessimo davanti a noi un'orbita di stella doppia, che fosse evidentemente un'ellisse, e trovassimo la stella principale nel punto centrale e non nel fuoco di essa, noi potremmo ammettere che la vera orbita della stella secondaria sia un cerchio; in questo caso il rapporto del piccolo asse al grande asse dell'ellisse ci darebbe immediatamente l'angolo sotto il quale noi vediamo l'orbita. Ora, come si vede facilmente, dalla distanza apparente della stella principale dal fuoco, e rispettivamente dal centro dell'ellisse apparente si può trovare la sua vera forma,

nella supposizione che la stella principale si trovi realmente nel fuoco dell'ellisse.

Se preventivamente ammettiamo che le tre leggi di Keplero vigano anche per i sistemi di stelle doppie, non vi è alcuna difficoltà a determinare i veri elementi dell'orbita del loro movimento. La bisogna procede diversamente, quando noi ci proponiamo la questione, se quelle leggi valgano realmente anche colà; non si può infatti trovare alcun argomento indipendente dalla legge di Newton che ci permetta di trovare, senza alcuna presupposizione sulla vera forma dell'orbita, l'angolo di proiezione sotto il quale noi l'osserviamo. Non vi è pertanto alcun metodo diretto di svolgere una dimostrazione che provi che i movimenti delle stelle doppie si fanno lungo ellissi, in uno dei fuochi delle quali è situata la

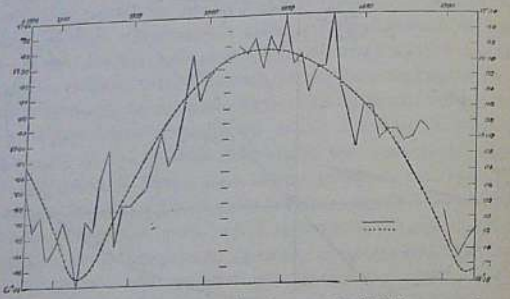


Fig. 280. — Fluttuazioni periodiche del movimento proprio di Sirio, secondo osservazioni istituite a Greenwich negli anni tra il 1836 ed il 1894.

stella principale. La cosa si presenta meglio per la seconda legge di Keplero delle aree eguali, che debbono essere descritte dal raggio vettore in tempi eguali; giacchè le aree viste sotto un medesimo angolo di proiezione debbono avere fra loro sempre lo stesso rapporto delle aree dell'orbita vera, così la legge delle aree deve anche senz'altro valere per le ellissi apparenti delle stelle doppie. Ma noi vedemmo che la legge delle aree non consente pur troppo alcuna conclusione sulla natura della forza centrale. La terza legge di Keplero poi, non può venir saggiata che in sistemi stellari tripli o multipli, e di questi ve ne sono molto pochi, i cui movimenti possano venire investigati esattamente.

Il più interessante fra questi sistemi è quello multiplo della stella ζ *Cancri*, che fu sottoposto ad accurata disamina, in modo speciale da Seeliger. Il risultato fu, che le stelle di questo sistema si muovono bensì generalmente a norma della terza legge di Keplero, entro i limiti dell'incertezza delle osservazioni esistenti, ma che una delle stelle secondarie, mostra certe deviazioni, che denotano che nella vicinanza di questa stella (C) si trova un corpo ancora ignoto, probabilmente affatto oscuro, che le gira attorno.

In altri casi di stelle multiple, si presentano difficoltà teoriche, che hanno loro fondamento nella irresolubilità del problema dei tre corpi. Nei sistemi multipli di stelle, le masse sono spesso distribuite in modo differente affatto da quello del

sistema solare. I compagni hanno, rispetto alla stella principale, una massa maggiore che i pianeti non abbiano rispetto al Sole, per ciò qui non giova più il metodo di approssimazione della teoria delle perturbazioni. Però, in via indiretta, anche in queste regioni si possono istituire delle verifiche, ove ci si proponga di esaminare, se data la supposizione della validità della legge di gravitazione, le osservazioni si accordino col calcolo. Questo si è realmente sempre constatato; circostanza però che può tanto meno valere come dimostrazione stringente, in quanto che dovrebbero avvenire scarti molto notevoli da quella legge, perchè non potessero più celarsi dietro gli errori d'osservazione relativamente grandi.

La legge della gravitazione universale trovò nei lontani spazi delle stelle fisse, due splendide conferme, paragonabili alla scoperta di Nettuno, nella scoperta del compagno oscuro di Sirio e di Procione. Queste due lucenti stelle mostravano dei particolari movimenti a spira sul firmamento; quelli di Sirio sono rappresentati nella figura 280. Noi vedremo in seguito che tutte le stelle fisse hanno dei movimenti propri, che d'altronde si appalesano generalmente uniformemente veloci e procedenti in linea retta. Soltanto nelle due stelle menzionate si mostrò una deviazione ragguardevole, che Bessel scoprì per il primo, e che spiegò subito, invocando l'esistenza presso di esse di un corpo oscuro, che colla sua forza d'attrazione produca il notevole movimento del corpo lucente; quella linea a spira dovrebbe provenire da ciò che il centro comune di gravità dei due corpi procede nello spazio con velocità uniforme, mentre i corpi stessi girano attorno a questo centro di gravità. In tale supposizione Bessel nel 1844 assegnò alla durata della rivoluzione del corpo oscuro di Sirio 50 anni. Nel 1862 all'ottico americano Alvan Clark che stava provando un obiettivo di 17 pollici, che egli aveva costrutto per l'Osservatorio di Chicago, venne fatto di scorgere accanto alla stella più splendente del nostro firmamento un piccolo puntino luminoso di nona o decima grandezza, distante da quella di circa 10″, che a termini delle indagini di Auwers era realmente il corpo cercato. Questi calcoli assegnarono al compagno di fresco scoperto una rivoluzione della durata di 49 anni e mezzo, in coincidenza assai ristretta colle corrispondenti determinazioni di Bessel. Ammettendo la legge della gravitazione universale, la massa di Sirio non poteva essere molto maggiore di una volta più di quella del suo compagno, sebbene questo irradi, a dir poco, 5000 volte meno luce. Qui ci troviamo davanti ad un corpo che non è per nulla intieramente oscuro, ma che però si trova in uno stadio di raffreddamento molto progredito, che è in procinto di passare allo stato di pianeta. Negli anni successivi il compagno si mosse in guisa misuratamente prevista intorno alla stella principale, col che, come era prevedibile, la sua distanza apparente da quella, prima crebbe un poco e poi andò ognor più accorciandosi. Nel 1877 la distanza era di 11″, 10 anni più tardi ancora di 6″,s; finalmente nel 1890 il compagno stesso scomparve tra i raggi di Sirio, anche per i migliori cannocchiali. Burnham calcolò l'orbita del corpo da tutte le osservazioni fatte prima d'allora, e trovò 53 anni per la durata della rivoluzione. Nel 1893 il compagno dovette toccare la sua massima vicinanza a Sirio di 2″,4, e con perfetta corrispondenza a questo computo, esso fu riveduto nell'autunno del 1896 all'Osservatorio Lick.

Anche per il compagno di Procione, Auwers aveva calcolato un'orbita, deducendola dal movimento proprio variabile. La durata della rivoluzione ammontava

per esso a 40 anni; ma non si era ancora riusciti a scoprire questo corpo. Si credeva quindi di avere a che fare con un corpo oscuro. Però il 14 novembre 1896 venne fatto a Schaberle di scoprire, a mezzo del gigantesco refrattore dell'Osservatorio Lick, una minutissima stellina di tredicesima grandezza, distante da Procione di soli 4″,6, la cui direzione (angolo di posizione) corrispondeva a quello, che secondo l'orbita di Auwers doveva verificarsi per l'epoca della scoperta. Quindi anche in questo caso è stato dato di confermare col ritrovamento pratico una predizione, che è stata fatta nella supposizione che la legge della gravitazione universale valga anche per gli spazi stellati.

Però anche di fronte a tutte queste conferme giova non dimenticare che una dimostrazione positiva della validità della legge di Newton senza alcuna correzione od aggiunta non è data. Si può soltanto dire che le prescrizioni di questa legge tanto entro il nostro sistema solare, quanto negli spazi del firmamento stellato sono soddisfatte con una approssimazione così grande, che solo in pochissimi casi dubbi la moderna arte della misura di precisione lascia congetturare alcune deviazioni minime. Noi dobbiamo affermare ciò tanto più altamente inquantochè ritorneremo sui dubbi fondati che si elevano dalla teoria contro la validità assoluta di quel principio.

ELEMENTI DELLE ORBITE DEI CORPI PRINCIPALI DEL NOSTRO SISTEMA PLANETARIO E DI ALCUNE COMETE NOTEVOLI

in massima parte secondo i dati dell' " Annuaire du Bureau des Longitudes , pel 1897.

Elementi delle orbite dei pianeti maggiori.

NOME	VOLUME	MASSA		Densità della Terra = 1	Velocità media al minuto secondo	Durata della rotazione ossia giorno siderale	Eccentricità	Schiacciamento	Spazio percorso nel 1° minuto secondo di caduta	Gravità 1 kg. pesa kg.	Tempo impiegato dalla luce per giungere dall'astro alla Terra	Inclinazione dell'orbita rispetto all'eclittica	DURATA della rivoluzione	
		Terra = 1	Sole = 1		km.								Anni	Giorni
Mercurio	0,052	0,061	1 / 5 310 000	1,17	47,9	88 giorni?	0,2056	0	1,5	0,44	0h 3m	7° 0' 8"	0	87,969 258
Venere	0,975	0,787	1 / 411 150	0,81	34,7	225 "	0,0068	0	3,9	0,80	0 6	3 23 35	0	224,700 787
Terra	1	1	1 / 324 439	6,00	27,8	23h 56m 04s	0,0168	1/20	4,9	1	0 8	0 0 0	1	0,006 374
Marte	0,147	0,105	1 / 3 093 500	0,71	24,0	24 37 23	0,0933	0	1,9	0,38	0 13	1 51 2	1	321,729 646
Giove	1279,412	309,816	1 / 1 047	0,24	13,0	9 55 37	0,0483	1/9	11,3	2,26	0 43	1 18 41	2	314,838 171
Saturno	718,883	91,919	1 / 3530	0,13	9,5	10 14 24	0,0561	1/9	4,4	0,89	1 19	2 29 40	29	166,986 360
Urano	69,237	13,518	1 / 24 060	0,20	6,5	?	0,0463	?	4,6	0,75	2 38	0 46 20	84	7,890 36
Nettuno	54,955	16,469	1 / 19 700	0,30	5,4	?	0,0090	?	4,4	1,14	4 8	1 47 2	164	280,11 316
Sole	1 283 700	324 439	1	0,25	—	25 1/2 giorni	—	—	134,7	27,62	—	—	—	—

Elementi delle orbite dei pianeti maggiori.

NOME	DISTANZA MEDIA DAL SOLE			DIAMETRO DELL'EQUATORE		Velocità angolare all'equatore al minuto secondo	Movimento medio diurno	Movimento del perielio	Longitudine del nodo ascendente	Longitudine media al 1° gennaio 1850
	MILIONI		Unità astronomiche	Visto alla distanza del Sole	Terra = 1					
	km.	Miglia geografiche								
Mercurio	58	7,8	0,38 710	6,61"	0,373	2m	14 732,42"	75° 7' 14"	46° 33' 9"	327° 15' 20"
Venere	108	14,6	0,72 333	17,55	0,999	2 ?	5 767,67	129 27 15	75 19 52	245 33 15
Terra	149	20,0	1,00 000	17,72	1	465	3 548,19	100 21 42	0 0 0	100 47 4
Marte	227	30,6	1,52 369	9,35	0,528	240	1 886,52	333 17 54	48 23 53	83 40 31
Giove	777	104,7	5,20 280	196,00	11,061	12458	299,13	11 54 58	98 56 17	160 1 10
Saturno	1424	192,0	9,53 886	164,77	9,298	10140	120,45	90 6 57	112 20 53	14 52 28
Urano	2864	386,0	19,18 329	75,02	4,234	—	42,23	170 50 7	73 13 54	29 17 51
Nettuno	4487	604,7	30,05 508	67,29	3,798	—	21,53	45 59 43	130 6 25	334 33 29
Sole	—	—	—	32' 3,64"	108,558	2005	—	—	—	—

Elementi delle orbite dei quattro più antichi piccoli pianeti.

Numero	NOME	Grandezza m.	Massima distanza Terra = 1	Minima distanza	Movimento diurno	Durata della rivoluzione anni	Eccentricità	Semi grand'asse	Longitudine del perielio	Longitudine del nodo ascendente	Inclinazione	Longitudine media dell'epoca	Epoca in tempo medio di Parigi
1	Cerere . . .	7,4	2,98	2,56	770,78′	4,61	0,076	2,767 265	149° 37′ 49″	80° 46′ 39″	10° 37′ 10″	103° 25′ 3″	25,0 Dicembre 1874
2	Pallade . . .	8,0	3,43	2,11	768,39	4,61	0,237	2,772 907	122 3 8	172 54 9	34 41 23	236 36 57	8,0 Giugno 1895
3	Giunone . .	8,7	3,35	1,98	814,08	4,36	0,258	2,668 266	54 50 15	170 53 21	13 1 23	47 22 27	1,0 Novembre 1874
4	Vestale . . .	6,5	2,57	2,15	977,67	3,63	0,088	2,361 618	250 56 52	103 29 15	7 7 54	67 41 55	7,0 Dicembre 1874

Elementi del movimento della Luna.

Rivoluzione siderale	$27^d\ 7^h\ 43''\ 12^s$
Rivoluzione sinodica	29 12 44 2
Inclinazione media dell'orbita	5° 8′ 47,9″
Inclinazione media dell'equatore lunare	1 32
Eccentricità	0,054 908
Distanza dalla Terra	60,2745 Raggi equatoriali terrestri
„ „ „	384 455 km.
Massima distanza dalla Terra. . . .	407 110 km.
Minima distanza dalla Terra	356 650 km.
Diametro medio	31′ 8″,2
„ „	3480 km.
Superficie completamente invisibile	0,410
Massa, Superficie, Volume, Densità (Terra = 1)	0,0125, 0,0745, 0,0204, 0,615

Satelliti di Marte.

Equinozio dell'epoca 1877 Agosto 28,0	Phobos	Deimos	Equinozio dell'epoca 1877 Agosto 28,0	Phobos	Deimos
Longitudine media	322° 54,2′	88° 45,4′	Eccentricità	0,0321	0,0057
„ del nodo	82 57,3	85 34,2	Semi-grand'asse	2,771	6,921
„ del perielio . . .	4 13,9	357 58,4	„ „ . . . . km	9380	23400
Inclinazione	26 17,2	25 47,2	Rivoluzione siderale	$7^h\ 39^m\ 15^s$	$1^d\ 6\ 17^m\ 54^s$

Satelliti di Giove.

Equinozio medio Epoca (Tempo medio di Parigi)	I. dell'epoca 1850 Gennaio 0,0	II. dell'epoca 1850 Gennaio 0,0	III. dell'epoca 1850 Gennaio 0,0	IV. dell'epoca 1850 Gennaio 0,0
Longitudine media	148° 43,9′	14° 20,1′	37° 7,5′	164° 13,6′
» del nodo	335 45,0	336 55,3	341 30,4	344 56,8
» del perielio	—	—	235 18,5	266 40,9
Inclinazione	2 8,0	1 39	1 59,9	1 57,0
Eccentricità	—	—	0,0013	0,0072
Semi grand'asse	5,933	9,439	15,057	26,486
Rivoluzione siderale	1d 18h 27m 34s	3d 13h 13m 42s	7d 3h 42m 33s	16d 16h 32m 11s
Massa (Giove = 1)	0,00 001 688	0,00 002 823	0,00 008 844	0,00 004 248

Satelliti di Saturno.

Equinozio medio Epoca (Tempo medio di Parigi)	Mimas dell'epoca 1889 Marzo 31,0	Encelados dell'epoca 1889 Marzo 25,0	Thetis dell'epoca 1889 Marzo 17,0	Dione dell'epoca 1885 Settembre 1,0
Longitudine media	84° 56,0′	256° 17,4′	135° 4,8′	56° 45,1′
» del nodo	165 0,0	167 56,5	166 7,4	167 40,8
» del perielio	300	122 28,0	—	270 50,0
Inclinazione	27 36,0	28 7,0	28 40,2	27 58,5
Eccentricità	0,016	0,0047	—	0,00 206
Semi grand'asse	3,10	3,98	4,91	6,31
Rivoluzione siderale	0d 22h 37m 5s	1d 8h 53m 7s	1d 21h 18m 26s	2d 17h 41m 9s

Equinozio medio Epoca (Tempo medio di Parigi)	Rhea dell'epoca 1889 Marzo 17,0	Titan dell'epoca 1885 Settembre 1,0	Hyperion dell'epoca 1875 Ottobre 28,0	Japetus dell'epoca 1874 Settembre 3,0
Longitudine media	322° 12,7′	183° 25,6′	174° 30,4′	333° 14,9′
» del nodo	167 45,2	167 45,9	168 9,9	142 40,1
» del perielio	—	105 2,0	3 42,6	205 20,0
Inclinazione	28 22,1	27 28,2	27 4,8	18 31,5
Eccentricità	—	0,0291	0,1188	0,0296
Semi grand'asse	8,83	20,45	25,07	59,38
Rivoluzione siderale	4d 12h 25m 12s	15d 22h 41m 22s	21d 6h 39m 27s	79d 7h 54m 17s

Satelliti di Urano.

	Equinozio medio: 1850,0. Epoca: 1871 Dicembre 31,0			
	Ariel	Umbriel	Titania	Oberon
Longitudine media	153° 2′	275° 41′	20° 26′	308° 21′
» del nodo	167 20	164 6	165 32	165 17
» del perielio	196 26	158 33	93 33	149 46
Inclinazione	97 58	98 21	97 47	97 54
Eccentricità	0,020	0,010	0,0011	0,0088
Semi grand'asse	7,04	9,91	16,11	21,84
Rivoluzione siderale	2d 12h 29m 21s	4d 3h 27m 37s	8d 16h 56m 29s	13d 11h 7m 6s

Satellite di Nettuno.

Equinozio medio ed epoca: 1890 Gennaio 0,0

Longitudine media	65° 8,8′	Eccentricità	0,0070
» del nodo	187 25,0	Semi grand'asse	14,71
» del perielio	262 23,0	Rivoluzione siderale	5d 21h 2m 38s
Inclinazione	142 40,0		

Elementi delle comete periodiche.

Numero	NOME delle comete	Durata della rivoluzione in anni	EPOCA del passaggio al perielio	Distanza al perielio	Distanza all'afelio	Eccentricità	Longitudine del perielio	Longitudine del nodo ascendente	Inclinazione	Equinozio medio	NOME del calcolatore
1	Encke	3,303	1895 - 4 Febbraio 17h 51m	0,341 072	4,095 040	0,846 229	158° 42,3'	334° 44,8'	12° 54,4'	1895,0	Backlund
2	Tempel	5,218	1894 - 23 Aprile 6 0	1,350 608	4,666 498	0,551 077	306 15,9	121 10,1	12 44,4	1894,0	Schulhof
3	Brorsen . . .	5,456	1890 - 24 Febbraio 2 31	0,587 759	5,610 377	0,810 343	116 23,2	101 27,6	29 23,8	1890,0	E. Lamp
4	Tempel - L. Swift	5,534	1891 - 14 Novembre 23 0	1,088 604	5,170 878	0,652 702	43 14,3	296 31,2	5 23,2	1891,0	Bossert
5	Winnecke . . .	5,818	1892 - 30 Giugno 21 26	0,886 422	5,583 128	0,725 971	276 11,1	104 5,0	14 31,5	1890,0	v. Haerdtl
6	De Vico - E. Swift	5,863	1894 - 12 Ottobre 4 40	1,392 019	5,111 146	0,571 895	345 19,2	48 44,6	2 57,9	1894,0	Chandler
7	Tempel	6,507	1885 - 25 Settembre 17 37	2,073 322	4,897 332	0,405 128	241 21,8	72 24,1	10 50,4	1885,0	Gautier
8	Biela (nucleo I).	6,587	1852 - 23 " 17 14	0,860 161	6,167 319	0,755 201	109 5,3	245 49,5	12 33,5	1852,0	D'Arrest
	Biela (nucleo II).	6,629	1852 - 22 " 22 51	0,860 592	6,196 874	0,755 119	108 58,3	245 58,5	12 33,8		
9	Finlay	6,622	1893 - 12 Luglio 3 1	0,989 138	6,063 693	0,719 506	7 41,6	52 27,7	3 2,0	1893,0	Schulhof
10	D'Arrest . . .	6,691	1890 - 17 Settembre 11 50	1,324 042	5,777 760	0,627 125	319 14,6	146 16,5	15 42,7	1890,0	Leveau
11	Wolf	6,821	1891 - 3 " 11 21	1,592 851	5,600 583	0,557 138	19 11,6	206 22,5	25 14,5	1891,0	Thraen
12	Brooks	7,027	1896 - 4 Novembre 3 53	1,959 233	5,426 521	0,469 456	1 48,9	18 1,1	6 3,6	1896,0	Bauschinger
13	Faye	7,565	1881 - 22 Gennaio 16 7	1,738 140	5,970 090	0,549 017	50 48,8	209 35,4	11 19,7	1880,0	Möller
14	Tuttle	13,760	1885 - 11 Settembre 3 35	1,024 728	10,459 624	0,821 544	116 29,0	269 42,0	55 14,4	1890,0	Rahts
15	Pons - Brooks . .	71,48	1884 - 25 Gennaio 19 3	0,77 511	33,67 129	0,954 996	93 20,8	254 6,2	74 3,3	1880,0	Schulhof e Bossert
16	Olbers	72,63	1887 - 8 Ottobre 10 0	1,19 961	33,61 592	0,931 088	149 45,8	84 29,7	44 33,9	1887,0	Ginzel
17	Halley	76,37	1835 - 15 Novembre 0 15	0,58 895	35,41 121	0,967 281	165 48,8	55 10,2	162 15,1	1835,0	Pontécoulant

Elementi delle maggiori e più notevoli comete

Designazione	Passaggio al perielio	Longitudine del perielio	Longitudine del nodo ascendente	Inclinazione	Distanza perielia	Eccentricità
137 a. Cr.	29 Aprile	302°	220°	20°		
69 „	Luglio	315	165	70	1,01	
66 d. Cr.	14 Gennaio	325	32 40′	40 30′	0,89	—
539 „	20 Ottobre	313 30′	58	10	0,4446	—
837 „	1 Marzo	289 3	206 33	10-12°	0,3412	—
1066 „	1 Aprile	264 55	25 50	17	0,58	—
1231 „	30 Gennaio	134 48	13 30	6 5′	0,7195	—
1299 „	31 Marzo	3 20	107 8	68 57	0,9478	—
1301 „	24 Ottobre	312 0	138 0	13 0	0,3179	—
1337 „	15 Gennaio	2 20	93 1	40 28	0,64	—
1532 „	18 Ottobre	111 48	87 23	32 36	0,8282	—
1577 „	26 Ottobre	120 42	25 20	75 10	0,5192	—
1618 „	8 Novembre	3 5	75 44	37 12	0,1775	—
1664 „	4 Dicembre	130 43	81 16	21 18	0,3895	—
1680 „	17 Dicembre	262 19	272 30	59 35	1,0235	—
1707 „	11 Dicembre	79 55	52 47	88 36	0,6008	0,99998
1729 „	13 Giugno	320 31	310 38	71 5	0,8597	—
1744 „	1 Marzo	197 14	45 48	47 8	4,0435	1,0000
1769 „	7 Ottobre	144 11	175 4	40 45	0,2222	—
1770 „	14 Agosto	356 16	132 0	1 55	0,1229	0,9992
1781 „	29 Novembre	16 3	77 23	27 12	0,6743	0,7868
1807 „	18 Settembre	270 55	266 47	63 10	0,9610	—
1811 „	12 Settembre	75 1	140 25	73 2	0,8462	0,9953
1819 „	27 Giugno	287 5	273 44	80 46	1,0034	0,9951
1823 „	9 Dicembre	274 33	303 4	76 12	0,3410	1
1825 „	10 Dicembre	318 47	215 43	33 33	1,2287	1
1840 „	13 Novembre	22 32	248 56	57 57	1,2408	0,9954
1843 „	27 Febbraio	278 39	1 12	35 41	0,4808	0,9998
1845 „	5 Giugno	262 3	337 49	48 42	0,0055	0,9999
1858 „	29 Settembre	36 13	165 19	63 1	0,4016	0,9899
1860 „	16 Giugno	161 32	84 40	79 18	0,5784	0,9962
1861 „	3 Giugno	243 22	29 55	79 45	0,2929	1
1861 „	11 Giugno	249 4	278 58	85 26	0,9307	0,9855
1862 „	22 Agosto	344 41	137 26	66 25	0,8223	0,9853
1865 „	14 Gennaio	141 15	253 3	87 32	0,9026	0,9818
1867 „	19 Gennaio	75 52	78 35	18 13	0,9260	1
1874 „	8 Luglio	271 7	118 45	66 21	1,5725	0,8490
1880 „	27 Gennaio	73 34	355 54	86 58	0,6158	0,9988
1881 „	16 Giugno	265 13	270 58	63 26	0,0060	0,9995
1881 „	22 Agosto	219 13	97 7	89 44	0,7845	0,9964
1882 „	17 Settembre	55 37	346 1	48 0	0,6337	1
1888 „	18 Febbraio	29 2	278 6	78 6	0,0078	0,9999
1884 „	25 Gennaio	93 21	254 9	74 3	0,7602	—
					0,7757	0,9552

Prospetto delle recenti determinazioni di orbite delle stelle doppie.

Numero	NOME della stella doppia	Durata della rivoluzione in anni	Periastro	Periastro dal nodo	Nodo	Inclinazione	Eccentricità	Semi grande asse	NOME del calcolatore
1	κ Pegasi . . .	11,42	1896,03	89,6°	116,3°	81,2°	0,490	0,42″	See
2	δ Equulei . . .	11,478	1892,03	26,6	24,0	81,7	0,201	0,41	Wroblewsky
3	β Delphini . .	16,955	1868,850	220,9	10,9	61,6	0,096	0,46	Celoria
4	ζ Sagittarii . .	18,69	1882,86	—	83,7	—	0,170	0,53	Gore
5	9 Argus . . .	22,0	1892,3	75,3	95,5	77,7	0,700	0,65	See
6	85 Pegasi . . .	24,0	1883,80	256,4	116,3	55,6	0,388	0,89	See
7	42 Comae Beren.	25,56	1885,69	280,5	11,9	90,0	0,461	0,64	See
8	ζ Herculis. . .	34,411	1864,785	252,7	41,7	43,2	0,463	1,28	Doberck
9	Struve 3121 . .	34,649	1878,520	129,4	24,8	75,4	0,309	0,67	Celoria [wers
10	Procyon . . .	39,972	—	—	—	—	—	0,70	L. Struve e Au-
11	η Coronae bor. .	41,562	1850,792	218,6	25,7	59,7	0,267	0,89	Doberck
12	μ^1 Herculis BC. .	45,0	1879,8	180,0	61,4	64,3	0,219	1,39	See
13	Struve 2173 . .	45,4	1872,9	7,3	152,7	80,5	0,135	1,01	Dunér
14	Sirius	49,399	1843,275	18,9	62,0	47,1	0,615	2,33	Auwers
15	τ Cygni . . .	53,87	1863,99	205,4	83,0	44,7	0,347	1,19	Gore
16	γ Androm. BC. .	54,0	1892,1	200,1	113,4	77,8	0,857	0,37	See
17	μ^2 Herculis . .	54,25	1877,3	156,2	57,9	60,7	0,302	1,46	Doberck
18	γ Coron. austr. .	55,582	1882,774	75,4	229,1	111,4	0,699	2,40	Schiaparelli
19	Otto Struve 298 .	56,65	1882,857	21,9	2,1	65,8	0,584	0,88	Celoria
20	ζ Cancri . . .	60,327	1868,022	109,7	81,5	15,5	0,391	0,85	Seeliger
21	ξ Ursae maj. . .	60,72	1815,20	128,6	102,8	56,3	0,381	2,62	R. Wolf
22	Otto Struve 234 .	63,45	1881,15	72	124,2	47,3	0,363	0,34	Gore
23	Otto Struve 285 .	76,67	1882,53	162,2	66,2	41,9	0,470	0,397	See
24	α Centauri . .	87,44	1875,447	49,0	25,8	79,8	0,544	18,89	Powell
25	γ Centauri . .	88,00	1848	194,3	4,6	62,15	0,800	1,02	See
26	Otto Struve 235 .	94,41	1839,10	134,9	99,6	54,4	0,500	0,98	Doberck
27	70 p Ophiuchi .	94,44	1808,90	151,9	127,4	58,1	0,467	4,79	Pritchard
28	γ Coronae bor. .	95,50	1843,70	233,5	110,4	85,2	0,350	0,70	Doberck
29	ξ Librae . . .	95,90	1859,62	89,3	12,2	68,7	0,077	1,26	Doberck
30	Otto Struve 208 .	97,0	1884	15,9	160,3	30,5	0,440	0,34	See
31	Struve 3062 . .	102,943	1835,508	92,1	39,1	32,2	0,447	1,27	Doberck
32	ξ Scorpii . . .	104,00	1864,6	111,6	9,5	70,3	0,131	1,36	See
33	ω Leonis . . .	110,82	1841,81	64,1	148,8	121,1	0,536	0,89	Doberck
34	p Eridani . . .	117,51	1817,51	327,2	81,7	44,7	0,378	3,82	Casey
35	25 Canum . . .	184,0	1866	201,0	123,0	33,5	0,752	1,131	See
36	λ Ophiuchi . .	122,51	1800,759	111,1	65,8	68,4	0,819	0,809	Seeliger
37	ξ Bootis . . .	128	1903,9	239,2	10,5	52,3	0,721	5,558	See
38	4 Aquarii . . .	129,84	1751,96	235,0	340,2	56,6	0,461	0,717	Doberck
39	Θ^2 Eridani . .	139,0	1863,88	354,4	146,3	76,33	0,136	5,99	Gore
40	Otto Struve 400 .	170,37	1882,09	43,5	146,3	37,0	0,669	0,59	Gore
41	Struve 2107 . .	186,21	1893,33	104,1	186,3	45,9	0,387	1,00	Berberich
42	14 Orionis . .	190,5	1959,1	302,7	99,6	44,95	0,246	1,22	Gore
43	γ Virginis. . .	194,0	1836,5	270	50,4	31,0	0,897	3,989	See

Numero	NOME della stella doppia	Durata della rivoluzione in anni	Periastro	Periastro dal nodo	Nodo	Inclinazione	Eccentricità	Semi grande asse	NOME del calcolatore
44	η Cassiopeae . .	195,7	1907,8	217,9°	46,1°	46,9°	0,514	8,215	See
45	μ^2 Bootis . . .	219,4	1865,3	329,7	163,8	43,9	0,507	1,268	See
46	τ Ophiuchi . .	230	1815	18,6	76,4	57,6	0,592	1,249	See
47	44 Bootis . . .	261,12	1783,01	1,3	65,5	70,1	0,71	3,993	Doberck
48	36 Andromedae .	316,07	1801,73	115,7	93,8	51,9	0,514	1,65	Doberck
49	Struve 1819 . .	340,1	1797,0	348,9	156,4	37,5	0,305	1,46	Casey
50	σ Coronae bor. .	370	1821,8	47,7	30,5	47,5	0,340	3,819	See
51	Struve 1757 . .	401,0	1797,42	315,5	344,7	29,5	0,508	2,29	Casey
52	γ Leonis . . .	407,4	1741,00	195,4	111,6	43,1	0,733	1,98	Doberck
53	δ Cygni	415,11	1904,10	203,0	91,1	37,8	0,286	2,41	Behrmann
54	12 Lyncis . . .	485,8	1716	93,6	166,5	46,1	0,229	1,64	Gore
55	μ Draconis . .	648	1940,35	—	—	—	0,493	3,38	Berberich
56	61 Cygni . . .	782,6	1468,2	288,3	341,1	63,9	0,174	29,5	C. F. W. Peters
57	α Geminorum .	1001,21	1749,75	297,2	27,8	44,5	0,329	7,42	Doberck
58	ζ Aquarii . . .	1578,3	1924,15	134,7	140,9	44,7	0,632	7,65	Doberck

See dà pel N° 3: 27 anni, N° 14: 52 anni, N° 22: 77 anni, N° 24: 81 anni, N° 27: 88 anni, N° 28: 73 anni, N° 33: 116 per le durate delle rivoluzioni.

11. — L'aberrazione della luce e la parallasse delle stelle fisse.

Noi riconoscemmo, che dopo la scoperta del principio di Newton non occorreva più alcuna dimostrazione del movimento della Terra attorno al Sole. Così non stavano le cose nell'intervallo di tempo che trascorse da Copernico a Newton. Le dispute acerrime che s'accesero intorno al sistema Copernicano sono risapute; l'espressione di Galileo " e pur si muove „ è rimasta anche col trascorrere dei secoli un motto di battaglia. Galilei fu il più strenuo e famoso campione sostenitore della nuova dottrina; troppo brillante, e troppo incurante d'ogni riguardo, dobbiamo dire oggidì ad animo tranquillo e con ponderata riflessione, giacchè si è quasi sicuramente, a causa della vivacità soverchia e poco riguardosa, colla quale Galilei attaccò tutti quanti i contraddittori delle sue opinioni, che l'opera di Copernico fu messa all'Indice, cioè in quell'elenco di opere che i Pontefici riguardano come empie verso Dio e condannabili e sacrileghe, e vogliono designate pubblicamente come tali. Copernico era canonico della collegiata cattolica di Frauenburg, e molto amato dal papa Paolo III; questi aveva anzi accettato e gradito la dedica della sua famosa opera " De revolutionibus orbium coelestium „; che comparve stampata soltanto poco dopo la morte di Copernico nell'anno 1543. Anche il papa seguente, Gregorio XIII, per nulla si oppose a che pei lavori per la riforma del calendario, da lui introdotta, si adoperassero tavole che erano state

calcolate sulla base del sistema copernicano. Galilei stesso all'epoca del suo splendore era altamente apprezzato a Roma, e sembra che il cambiamento fatale che

Fig. 281. — Galileo Galilei, nato a Pisa nel 1564, morto ad Arcetri presso Firenze nel 1642. Da un ritratto del 1624.

si fece contro di lui alla corte papale, avvenisse soltanto dopo che egli aveva intavolata col padre gesuita Scheiner una polemica molto acre circa la priorità nella scoperta delle macchie solari.

La persecuzione della dottrina copernicana che s'iniziò allora, ed alla quale sembra che il Papa stesso s'inducesse molto a malincuore, ebbe naturalmente in sul principio di mira il suo più strenuo sostenitore, Galilei, e solo molto più tardi si estese a più ampia cerchia. D'altronde non erano per nulla soltanto i cattolici, che partecipassero a quella persecuzione; si dice che Lutero abbia detto di Copernico: " Il pazzo, vuol mettere a soqquadro tutta l'arte astronomica, ma la Sacra Scrittura ci dice, che Giosuè fece fermare il Sole e non la Terra „ e Melantone

riteneva quella dottrina tanto empia, che era dovere della pubblica autorità il sopprimerla. Si deve però ben compiangere l'infelice Galilei, che vecchio di 70 anni, fu costretto con minaccie di tortura (per quanto si è potuto verificare, risulta che egli non la subì fisicamente) ad abiurare pubblicamente una dottrina per la verità della quale egli aveva lottato durante tutta la sua vita. Ma d'altra parte un giudizio imparziale deve riconoscere che tutti quei guai sarebbero stati sicuramente risparmiati a Galilei, quando egli nella lotta disuguale avesse adoperati modi meno acri ed acerbi, ed è più che probabile, che il sistema copernicano non sarebbe mai stato seriamente perseguitato, quando questo suo difensore non si fosse pronunziato a quel modo per esso.

Mentre ferveva questa disputa era di estrema importanza, il procurarsi delle prove della nuova dottrina, quanto più si potesse sensibili, e si fu ancora Galilei che si diede a cercarne col massimo ardore. Per questo rispetto fu molto efficace la scoperta dei satelliti di Giove, che gli venne fatto di vedere per il primo nel 1610 col cannocchiale che egli stesso si era fabbricato. Si videro allora distintamente davanti agli occhi quattro stelle, che circolavano attorno ad un'altra stella mobile a sua volta, un movimento centrale secondario, cioè una fedele immagine del sistema solare secondo le nuove idee. Ai nemici di queste, questa scoperta tornò molto sgradita, e si racconta che alcuni di essi non si poterono decidere a servirsi del cannocchiale, per non correre il rischio di vedere scalzata la loro antica ed amata teoria del mondo, nella quale erano invecchiati. Però l'esistenza dei satelliti di Giove non era ancora una dimostrazione rigorosa del movimento della Terra.

Per contro Galileo aveva concepito una via, seguendo la quale si poteva giungere a dimostrare con tutto rigore, che il nostro punto di stazione nell'universo, descrive, nel corso di un anno, un cerchio attorno ad un centro fisso. Nei suoi famosi dialoghi, egli così si esprime: " Un giorno verrà in cui fra le stelle fisse si osserverà alcuna cosa, dalla quale si potrà dedurre una conclusione circa il movimento della Terra, giacchè non è probabile che le stelle fisse distino tutte egualmente da noi „. Ciò invece avviene stando al sistema tolemaico, giacchè, come è noto, in esso tutte le stelle sono fisse sulla medesima sfera solida, il *primum mobile*. Ma se esse sono in realtà disugualmente distanti da noi, esse debbono dare a divedere nelle loro posizioni rispettive delle variazioni prospettiche, che per ogni stella si ripetono nel corso di un anno sempre nella medesima guisa: deve esistere una parallasse annua delle stelle fisse, quale quella diurna che noi abbiamo già visto per la Luna e per i pianeti. Come per quest'ultima, durante la rotazione diurna della Terra attorno al proprio asse, si cambia apparentemente la posizione di un astro non troppo lontano rispetto alle stelle fisse riguardate come infinitamente lontane, di guisa che la grandezza di questo spostamento prospettico si misura col rapporto della distanza dell'astro al diametro terrestre, così le stelle fisse debbono del pari eseguire dei movimenti apparenti, la cui misura è data dal rapporto della loro distanza al diametro dell'orbita terrestre. Colla rivoluzione della Terra attorno al Sole, noi abbiamo acquistato una immane base lunga 300 milioni di chilometri, colla quale possiamo misurare le distanze nell'universo.

È facile il rappresentarci, come debbano conformarsi i movimenti apparenti di una stella fissa in causa della sua parallasse. A tale scopo trasportiamoci da

prima su quella stella stessa; allora, supposticì in possesso di mezzi ottici sufficienti, avremmo davanti a noi, nel Sole e nella Terra, un sistema di stella doppia, nel quale la vera orbita del corpo secondario non si può distinguere da un cerchio. Noi sappiamo cioè che essa, considerata da tutte le direzioni, forma sempre un'ellisse, nel cui centro (non fuoco) si trova il Sole. Ad ogni modo il grand'asse di questa ellisse di proiezione è uguale al grand'asse dell'orbita vera, visto dalla corrispondente distanza; esso non è alterato dall'angolo della visuale. Noi possiamo quindi sempre immaginare un lungo triangolo rettangolo, un lato del quale è uguale alla distanza della stella dalla Terra, mentre l'altro è formato dal semidiametro dell'orbita terrestre R. Ora se diciamo π l'angolo sotto il quale è visto dalla stella il raggio R dell'orbita terrestre, si ha fra quelle quantità la relazione $R = d \operatorname{tang.} \pi$. Ma si vede immediatamente che l'angolo π è pur quello del quale deve vedersi spostata la stella nel corso di un anno, e che quindi esso è equivalente alla sua cercata parallasse annua. Quindi tutte le stelle fisse debbono descrivere delle piccole ellissi, la cui grandezza dipende dalla loro distanza come la loro forma dalla loro situazione rispetto all'orbita terrestre. Una stella tale che la retta che la congiunge col Sole sia perpendicolare all'eclittica, e che quindi è da noi veduta al polo di essa (ha una latitudine di 90°), vede l'orbita terrestre quale un cerchio; il suo movimento parallattico deve pertanto avere la stessa forma. Per contro una stella situata nel piano dell'eclittica vede il movimento della Terra soltanto secondo una linea, lungo la quale il nostro pianeta oscilla con battiti di uguale ampiezza dalle due parti. Quindi, per le stelle tutte nell'eclittica o nei suoi dintorni la parallasse non può mostrarsi che lungo una linea. Tra questi due casi estremi stanno le ellissi, il rapporto degli assi delle quali (eccentricità) dipende solamente dalla loro latitudine, e può quindi venire preventivamente calcolata. La grandezza degli assi stessi viene però determinata dalla distanza d incognita della stella; questa può ottenersi, quando a mezzo dell'osservazione si giunga ad ottenere l'angolo π.

Se si fosse potuto osservare un tal movimento apparente delle stelle, che si compie sistematicamente rispetto all'eclittica e nel corso di un anno, allora si sarebbe avuta senz'altro un'irrefutabile dimostrazione del movimento della Terra attorno al Sole. Galilei credeva, che tali spostamenti si sarebbero potuti probabilmente constatare a mezzo dell'osservazione della scomparsa di una stella lucida dietro una torre molto lontana, istituita a diverse epoche dell'anno. Questa proposta non prova altro, se non il concetto estremamente ristretto che anche quel grande pensatore si era fatto dell'universo. Quando s'incominciò a misurare col cannocchiale, gli aderenti della nuova teoria riconobbero dai risultati, che rimanevano sempre negativi, quanto enormemente Copernico avesse allargato il campo delle loro ricerche, mentre gli oppositori trovavano nella completa mancanza della parallasse delle stelle fisse ragione di rinforzare le loro obbiezioni. Vuolsi che venisse proposto di collocare sopra una torre della chiesa di S. Paolo in Londra un grande obiettivo, per ottenere così una visuale invariabile ad una stella, il che si era già tentato una volta prima allo scopo medesimo: e si vuole pure che Newton, prevedendo l'insuccesso, avesse impedito l'attuazione della proposta. Hooke, un acre avversario di Newton, murò solidamente un cannocchiale di 12 metri di lunghezza, per trovare a mezzo di esso lo spostamento di una stella nel corso

delle stagioni: tutto fu inutile. Neppure tutti i perfezionamenti successivi dell'arte di misurare fino ai tempi di Bessel, valsero a far scoprire la parallasse cercata. È vero che il danese Römer, già nominato, credette di aver trovato una parallasse delle stelle fisse da 30 a 40 secondi, ma oggi si deve riconoscere che si trattava di errori d'osservazione.

Nelle ulteriori ricerche della parallasse delle stelle fisse avvenne qualche cosa di molto notevole. Bradley, che a quel tempo era direttore dell'Osservatorio di Greenwich, fornito di squisiti istrumenti, aveva fin dal 1725 osservato con molta cura la stella γ del Dragone, che essendo circumpolare è visibile durante tutto l'anno, e ciò al fine di scoprire un eventuale spostamento parallattico di essa. Le osservazioni proseguite durante tre anni, dimostrarono effettivamente un movimento apparente della stella, che si ripeteva regolarmente nel corso di ogni anno, e che si compiva lungo un'ellisse, il cui grand'asse era disposto parallelamente all'eclittica. L'ampiezza del movimento apparente verso Est ed Ovest era molto notevole e saliva ad un mezzo minuto d'arco. Un esame superficiale avrebbe dichiarato, che qui si era scoperta una parallasse molto ragguardevole. Per contro, più attenta riflessione mostrò che il movimento della stella lungo quest'ellisse procedeva in maniera diversa, da quella voluta dal principio del movimento parallattico.

Per chiarire bene questa differenza, consideriamo dapprima una stella che si trova esattamente nel piano dell'eclittica. Stando a quanto già fu detto, il massimo scarto parallattico deve allora avvenire per la stella, quando la Terra vista da essa ha la massima elongazione orientale od occidentale dal Sole. All'epoca della congiunzione e dell'opposizione non avviene alcun spostamento parallattico, giacchè in quelle posizioni i tre corpi si trovano sopra una medesima linea retta. Ora Bradley osservò precisamente l'opposto per ciascuna stella: all'epoca delle sizigie si verificava il massimo deviamento, a quella delle elongazioni, nessuno. Quando più tardi si investigò più addentro nel fenomeno curiosissimo, si trovò che esso era, senza distinzione, comune a tutte le stelle, e che la massima deviazione aveva per tutte la stessa grandezza. Il semigrand'asse dell'ellisse descritta misura per tutte le stelle 20″,5.

Come spiegare ora quest'apparenza di movimento di recente scoperto, e che sta in connessione immediata col movimento della Terra intorno al Sole? Già Bradley stesso ne trovò la giusta spiegazione, che cioè essa è una conseguenza della velocità relativa del movimento della Terra rispetto a quella della luce. Mentre i raggi di luce provenienti dalle stelle attraversano il nostro cannocchiale, quest'ultimo si muove nello spazio, portato dalla Terra intorno al Sole; noi non possiamo quindi vedere il raggio di luce nella direzione che esso possiede dalla sua origine, ma lo vediamo secondo una diagonale del parallelogramma che risulta, componendo secondo le regole della meccanica, le due velocità corrispondenti. Nello spostamento del raggio di luce nel cannocchiale avviene la stessa cosa che per il percorso di una palla, che fosse sparata sopra un carro di ferrovia in movimento in direzione perpendicolare al movimento stesso: se la palla attraversa le due pareti opposte della carrozza, la retta che congiunge i due buchi, non sarà perpendicolare alle pareti, sebbene prima la direzione di mira fosse perpendicolare a queste pareti stesse. La deviazione avverrà in senso opposto a quello del movimento del treno, poichè nell'intervallo di tempo impiegato dalla palla a

percorrere la distanza fra le due pareti, il treno ha percorso un certo tratto. L'angolo di questa deviazione si può misurare facilmente a mezzo dell'espressione $v = G \operatorname{tang} \alpha$, ove v è la velocità del treno di ferrovia, G quella del proiettile, ed α l'angolo di deviazione cercato.

Noi possiamo trasportare immediatamente queste condizioni al movimento della Terra. Se ci rifacciamo a considerare ancora il caso più semplice di una stella nell'eclittica, riconosciamo senz'altro subito che questa che è chiamata *aberrazione della luce* deve essere realmente massima nell'eclittica, quando la Terra si trova per quella stella in congiunzione od in opposizione col Sole, poichè allora il movimento di essa si fa in direzione normale al raggio di luce congiungente. Durante le elongazioni, per contro, la Terra si muove o direttamente verso la stella, o recede da essa, quindi non può avvenire alcun scarto della direzione. Se questa spiegazione è realmente giusta, a mezzo della formola scritta poc'anzi si deve poter senz'altro calcolare la velocità della luce dalla costante dell'aberrazione, introducendo per g il valore già trovato in altra occasione della velocità della luce nella sua orbita. Essa è $v = \frac{2r\pi}{u} = G \operatorname{tang} \alpha$, donde $G = \frac{2 \times 148.600.000 \times 3{,}1416}{31.560.000 \times 0{,}00.009.938}$ $= 297.700$ km. Per questo calcolo, α fu preso eguale a $20'',5$ ed u ed r espressi rispettivamente in secondi di tempo ed in chilometri. Il valore trovato è quindi la velocità della luce in chilometri: esso concorda egregiamente con quello trovato a mezzo di esperimenti fisici entro distanze terrestri, che ponemmo assai esattamente eguale a 300.000 km. Pertanto l'aberrazione della luce dimostra nel modo il più brillante il movimento della Terra nello spazio, la cui grandezza noi avremmo anzi potuto calcolare con esattezza relativamente grande, se noi avessimo assunta come nota, da osservazioni fisiche, la velocità della luce. Ma poichè la grandezza del moto della Terra, è stata trovata con tutta sicurezza dalle indagini del precedente capitolo, così è d'altra parte degno di nota il fatto che dalla costante dell'aberrazione per raggi provenienti dalle parti più remote dell'universo, segua, per la velocità della luce, lo stesso valore che risulta da osservazioni istituite entro i limiti del nostro sistema solare o da esperimenti eseguiti sulla superficie stessa della Terra.

Il valore della costante dell'aberrazione fu determinato molte volte dopo Bradley. D'altra parte a questi problemi si oppongono difficoltà tanto maggiori, in quanto che i movimenti apparenti delle stelle fisse si vanno sempre più complicando. Perciò nelle equazioni che si riferiscono a quei problemi devono anche venir introdotte come quantità, che abbisognano di correzione le costanti della precessione e della nutazione. Il miglior valore della costante dell'aberrazione è quello determinato da Struve di $20'',492$ (*a*).

Frattanto non si era smesso di ricercare i movimenti parallattici delle stelle fisse. Però si dovette rinunziare a trovarli a mezzo di determinazioni assolute sulle stelle fisse sotto forma di variazioni delle loro distanze zenitali o delle loro coordinate equatoriali (A R e D). E ciò perchè tali determinazioni erano troppo dipen-

---

(*a*) [L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pel 1899 dà per il valore dell'aberrazione determinato da W. Struve $20'',445$. La conferenza internazionale per le stelle fondamentali, riunita a Parigi nel 1896, adottò il valore $20'',47$. (O. Z. B.)].

denti dall'influenza delle variazioni di temperatura sulle costanti dell'istrumento impiegato nella misura, le quali debbono anche avere un periodo annuo, che può eventualmente coprire i movimenti parallattici e anche di tanto sorpassarli da produrre delle parallassi negative anormali e tali, che la stella sembri scostarsi in altra direzione da quella che la teoria sopra esposta esige. Dopo molte prove infruttuose e molti risultati ancora incerti, finalmente John Herschel propose il metodo per la misura delle parallassi relative. Per istituirla bisogna scegliere una stella otticamente doppia, cioè una coppia di stelle, nelle quali non si sia osservato alcun movimento orbitale attorno ad un comune centro di gravità. Si può ammettere allora che le due componenti la coppia sono da noi disugualmente distanti. Se noi scegliamo la stella in guisa che la grandezza apparente delle componenti sia molto diversa, scegliamo cioè ad esempio una stella di prima grandezza, la quale perciò, molto probabilmente, si trova a noi più vicina, e se misuriamo la sua distanza angolare da una stella di decima od undecima grandezza, che si trovi contemporaneamente ad essa nel campo del cannocchiale, e se troviamo che questa distanza oscilla nel corso dell'anno nel senso di un movimento parallattico, noi possiamo ben ammettere che la massima parte di questo movimento si debba ascrivere alla stella più lucente, specialmente ove con questa si sia paragonata una terza stella debole, che abbia dato lo stesso movimento. Se poi la stella più debole è situata, contro ogni probabilità, nella prossimità di quella lucida, allora non si avvertirà neppure alcun movimento parallattico, e se essa è a noi più vicina, troviamo una parallasse negativa per la stella lucida. Per contro se ammettiamo in precedenza, che la stellina debole, come è naturale, stia da noi molto più lungi dell'astro lucente, allora noi possiamo riguardare la parallasse della prima come insignificante, e ritenere che la parallasse relativa trovata sia quella soltanto della stella lucida. Le misure richieste da questo metodo possono venire istituite colla massima esattezza della quale è capace la moderna arte del misurare, ed il loro risultato è del pari quasi intieramente indipendente dalla conoscenza degli altri movimenti apparenti delle stelle fisse, come la precessione, l'aberrazione, la nutazione, ecc., giacchè queste per una medesima posizione della volta celeste agiscono con eguale maniera, cioè hanno sulle due stelle la medesima influenza, e tranne la differenza necessaria per la determinazione della parallasse non ne rimangono altre. È lecito del pari il supporre che gli errori istrumentali, in quanto non sono più da determinarsi, agiscano nello stesso modo sopra le due stelle visibili contemporaneamente nel campo del cannocchiale.

Ora poichè qui si tratta di misure delicatissime, le quali però soltanto a mezzo di osservazioni proseguite durante parecchi anni di seguito possono condurre a risultati che meritino una qualche fiducia, così fu da principio possibile l'investigare rispetto al movimento parallattico soltanto un ristretto numero di stelle. È facile il trovare, a mezzo dell'ultima formola riportata, che una parallasse di un secondo d'arco corrisponde ad una distanza della stella, che si considera di più di 200.000 raggi dell'orbita terrestre. Il valore di un centesimo di secondo, del quale in tali misure non si può per nulla essere sicuri, altera quindi già la distanza trovata della stella fissa di $2000 \times 150.000.000$ di km. Quindi ne è forza l'adattarci ad incertezze grandissime in queste misure dirette dello spazio stellato. Si tratta ora di decidere quale scelta faremo fra i millioni di stelle, cioè quali stelle siano,

secondo ogni previsione, le più vicine. Un argomento di probabilità è sotto questo aspetto senza dubbio la loro lucentezza; e di esso abbiamo già a suo tempo discorso nella Parte Prima. Però non rimane evidentemente escluso, che si possano dare alcune stelle particolarmente lucide, che malgrado ciò, siano molto più lontane che la media delle stelle di prima grandezza mentre pur hanno un notevole splendore. Quelle potranno venir riconosciute quando si ricerchi la parallasse delle poche altre stelle di prima grandezza, Ma può anche presentarsi il caso, che altre stelle abbiano una luce debole benchè esse ci siano tuttavia relativamente vicine. Poichè nell'universo gli individui piccoli, sono più frequenti dei grandi, così secondo ogni previsione, non sarà raro il caso di piccole stelle che presentano grandi parallassi. Ma come le si possono cernere fra i millioni? Per questo caso si ha un altro punto d'appiglio, che troveremo trattando nel prossimo capitolo del movimento proprio delle stelle. Se il valore di questo movimento proprio è particolarmente alto, allora si può conchiudere che la stella corrispondente non stia molto lungi da noi.

Questo modo di vedere, fu quello che guidò Bessel pel primo ad un'esecuzione di misure di parallasse coronata da felice successo. La stella doppia 61 del Cigno, le cui due componenti sono soltanto di sesta grandezza, mostra un tal movimento proprio molto ragguardevole, e le due stelle, che distano fra loro angolarmente di 21 secondo d'arco, procedono quasi esattamente parallelamente in cielo; esse mostrano un moto debolissimo, o quasi nullo, l'una attorno all'altra. Quindi malgrado la loro grandezza quasi eguale, le si sarebbero potute senz'altro dichiarare componenti di una stella doppia otticamente, delle quali una sarebbe molto più lontana da noi dell'altra, e quindi dovrebbe essere in realtà molto più grossa, per potere, malgrado la maggior distanza, apparire egualmente lucida. Inoltre la stella più lontana dovrebbe precisamente avere un moto proprio maggiore, corrispondente a questa maggiore distanza, affinchè le due stelle possano, per il nostro punto d'osservazione, conservare la stessa apparente distanza fra loro. Una tale coincidenza era per fermo molto improbabile, ed infatti sembra che una determinazione di orbita istituita da C. F. W. Peters sulla base delle misure istituite fra il 1828 ed il 1878 dia un movimento con una rivoluzione di circa 800 anni.

Bessel trovò la parallasse della stella doppia eguale a $0'',348$. Più tardi essa fu determinata parecchie volte ancora, specialmente da O. Struve, Auwers, Johnson, Bau e recentemente da Wilsing e Jacoby. Si trovarono valori molto diversi, fra $0'',564$ (Auwers) e $0'',192$ (Johnson). Già Auwers riguardava le osservazioni come non conciliabili fra loro, e di recente Wilsing, dal confronto di 110 rilievi fotografici, che abbracciavano un periodo di 22 mesi, trovò che la parallasse relativa della notevole stella, è soggetta realmente a fluttuazioni periodiche ragguardevoli. Da ciò naturalmente non si può conchiudere ad un qualsiasi essenziale fluttuare della distanza di questa stella da noi; ma si deve invece ritenere che le distanze delle due stelle l'una dall'altra siano soggette a variazioni periodiche, la cui causa potrebbe ancora essere posta in masse oscure, che producono delle perturbazioni su quelle visibili.

Se assumiamo la parallasse di 61 Cygni eguale a $0'',5$, ne segue una distanza di 400.000 raggi dell'orbita terrestre, in cifre rotonde. La luce percorre la distanza tra il Sole e la Terra in circa 500 secondi: essa impiega quindi 200 millioni di

secondi per venire da quella stella a noi. Un anno comprende 31,6 milioni di secondi in cifre rotonde, quindi alla luce sono necessari 6 anni e mezzo per giungere da 61 Cygni a noi. Le considerazioni qui svolte, contengono manifestamente anche una forza dimostrativa sufficiente a provare che i dati denotano sotto ogni circostanza un limite inferiore. Le misure tante volte ripetute hanno dimostrato con sicurezza la picciolezza straordinaria di tutte queste deviazioni parallattiche delle stelle fisse. Nessuno di questi angoli fu, neanche coi raffinati metodi dei giorni nostri, trovato neppure prossimo ad un secondo d'arco. Fra le 20 stelle che sotto tale aspetto furono esaminate una sola ha mostrato una parallasse maggiore a quella di 61 Cygni, essa è la stella α Centauri che si trova sull'emisfero celeste meridionale. Osservazioni antiche di 30 o 40 anni diedero per questa stella doppia otticamente una parallasse di circa 1″. Più tardi, Elkin, al Capo di Buona Speranza trovò soltanto 0″,47, e di recente (1895) A. W. Roberts pubblicò i risultati di una serie di osservazioni di questa stella, che le diedero una parallasse di 0″,21 con un errore probabile di 0″,5. Sembra, dopo ciò, pertanto che α Centauri stia a noi molto più vicina di 61 Cygni, e che essa sia il Sole più prossimo al nostro. Se ammettiamo che la parallasse di 0″,71 sia giusta, ne segue una distanza di 290.000 raggi dell'orbita terrestre, ossia di 4,6 anni di luce.

Data questa supposizione, noi siamo in condizioni di ottenere conclusioni un po' più esatte sulla natura di questa stella doppia. Noi possiamo cioè dare la distanza della stella secondaria dalla stella principale in raggi dell'orbita terrestre, cioè con un'unità di misura conosciuta. Il calcolo si fa a mezzo della formola medesima, colla quale noi abbiamo calcolato le parallassi, soltanto, sostituendo all'angolo parallattico la distanza angolare delle due componenti. Se diciamo r il raggio dell'orbita di α Centauri espresso in unità di distanza solare, ed a la distanza apparente delle due componenti, noi otteniamo l'equazione $r = d \operatorname{tang} a$. Per la parallasse noi abbiamo per contro $R = 1 = d \operatorname{tang} \pi$, e rammentando che le funzioni trigonometriche degli angoli molto piccoli stanno fra loro come gli angoli stessi, la combinazione delle ultime due espressioni dà $r = a : \pi$. Secondo la determinazione d'orbita istituita da Gill, il semi grand'asse dell'orbita di questa stella doppia misura angolarmente 17″,2. Questo diviso per la parallasse dà 24,2 raggi dell'orbita terrestre per la distanza del compagno; essa si troverebbe quindi ad una distanza dalla stella principale, alquanto minore di quella di Nettuno dal Sole.

Colla conoscenza di questa distanza, possiamo anche calcolare la forza, colla quale la stella principale agisce sulla stella secondaria, giacchè sappiamo anche che la durata della sua rivoluzione è di 80,34 anni. Dalle nostre considerazioni precedenti sul principio di Newton, si deduce facilmente che il rapporto degli spazii che due diversi corpi celesti, attratti dalla loro massa centrale rispettiva alla stessa distanza r, debbono percorrere, è espressa dalla formola stessa della terza legge di Keplero, cioè quando un corpo alla distanza r dal Sole ha una durata u di rivoluzione, ed un altro corpo, in un altro sistema solare a questa distanza r ha per contro una durata u_1, di rivoluzione, il rapporto delle forze d'attrazione di questi due sistemi alla distanza r è espressa dalla formola $r : u_1^2$. Nel caso nostro otteniamo la massa α Centauri $= \frac{24{,}2 \times 24{,}2 \times 24{,}2}{80{,}34 \times 80{,}34} = 2{,}2$ masse solari. Quindi noi troviamo che in questo a noi vicinissimo fra tutti i sistemi solari, sussistono

rapporti affatto simili a quelli vigenti nel nostro. Il Sole α Centauri ha una massa grande soltanto due volte quella del nostro astro centrale, e poichè nella supposizione di densità uguali i diametri stanno fra loro come le radici cubiche di queste masse, così il diametro di quel Sole sarà appena di un quarto maggiore di quello del nostro. In questa supposizione troviamo pel diametro apparente del più prossimo fra tutti i soli 0″,006. Non dobbiamo pertanto punto meravigliarci, che tutte le stelle si siano mostrate senza diametro a tutti i nostri mezzi d'osservazione.

Non bisogna però dimenticare che l'incertezza sulla parallasse entra alla terza potenza nella determinazione delle masse. Il risultato del calcolo dà l'incertezza nel caso di α Centauri però soltanto di 0″,05. Però se, per poter gettare uno sguardo d'assieme, noi assumiamo molto maggiori i limiti corrispondenti, ed ammettiamo che la parallasse varii fra 0,5 ed 1″, allora nella determinazione della massa di α Centauri ne risulterebbe un'incertezza da 1 a 6 masse solari. Ad ogni modo vuol essere segnalato come una prova meravigliosa della forza di penetrazione dello spirito umano il fatto, che si possa per così dire porre sul piatto della bilancia un sole, la cui luce impiega degli anni per arrecarci notizia della sua esistenza, e dei suoi movimenti veri ed apparenti, dai quali noi deduciamo queste conseguenze. Poichè già prima abbiamo pesato il Sole in confronto della Terra, e quest'ultima a sua volta rispetto al kg. che ci sta in mano, così noi siamo in caso di indicare un numero di tonnellate, che con un'approssimazione, in più od in meno, del suo triplo, ci dà i limiti entro i quali certamente è compreso il peso di quel lontano sole nel Centauro.

La piccola tabella seguente dà le parallassi, che furono determinate fino ad ora, ed i cui valori meritano fiducia.

Parallasse delle stelle fisse.

Designazione della stella	Parallasse	Autorità	Designazione della stella	Parallasse	Autorità
	0,314″	Bessel		0,116″	Peters
	0,348	»	α Ursae min.	0,076	Struve
	0,360	Peters		0,015	L. de Ball
	0,349	»		0,046	Peters
61 Cygni	0,564	Auwers	Capella (α Aurigae)	0,017	Elkin
	0,468	Ball		0,095	»
	0,270	A. Hall		0,226	Peters
	0,429	Pritchard		0,166	Schlüter
	0,525	Belopolsky	1830 Groombr.	0,114	Wichmann
61_2 Cygni	0,435	Pritchard		0,034	O. Struve
	0,261	Struve		0,097	Brünnow
	0,103	Peters		0,913	Henderson
α Lyrae	0,147	O. Struve	α Centauri	0,919	e Maclear
	0,206	Brünnow		0,521	Moesta
	0,134	Hall		0,75	Gill e Elkin
	0,034	Elkin	β Centauri	0,173	Moesta
α Bootis	0,107	Peters		0,00	Gill
	0,018	Elkin	ι Ursae maj.	0,133	Peters

Designazione della stella	Paral-lasse	Autorità
70 *p* Ophiuchi	0,162"	Kröger
	0,286	Schur
Lal. 21 258	0,260	Krüger
	0,262	Auwers
Lal. 21 185	0,501	Winnecke
	0,428	Kapteyn
Oeltzen 7415	0,247	Krüger
Oeltzen 11 677	0,242	Geelmuyden
	0,100	Franz
34 Groombr.	0,307	Auwers
σ Draconis	0,246	Brünnow
85 Pegasi	0,054	»
	0,055	»
3077 Bradley	0,205	Backlund
	0,283	Gyldén
γ Draconis	0,092	Auwers
	0,050	Pritchard
	0,516	Schdanow
Aldebaran (α Tauri)	0,116	Elkin
	0,102	A. Hall
Cygni 6 Bode	0,482	R. S. Ball
ζ Tucani	0,06	Elkin
ε Eridani	0,14	»
Canopus (α Navis)	0,03	»
	0,028	»
o^2 Eridani	0,17	Gill
	0,223	A. Hall
α Leonis	0,093	Elkin
β Geminorum	0,068	»
	0,150	Maclear
Sirius	0,193	e Henderson
	0,38	Gill e Elkin
	0,266	Elkin
Procyon	0,398	L. Struve
	0,240	Auwers
ε Indi	0,22	Gill e Elkin
α Orionis	0,022	Elkin
α Aquil. (Atair)	0,181	Struve
	0,214	Elkin
α Cygni	0,012	»
ε Ursae maj.	0,081	Pritchard
α Ursae maj.	0,046	»
α Persei	0,087	»

Designazione della stella	Paral-lasse	Autorità
β Tauri	0,063"	Pritchard
β Aurigae	0,052	»
α Androm.	0,028	»
α Arietis	0,080	»
γ Cassiop.	0,012	»
β Androm.	0,074	»
β Leonis	0,022	»
β Ursae min.	0,022	»
γ Cygni	0,102	»
β Cassiop.	0,164	»
α Cassiop.	0,038	»
β Persei (Algol)	0,058	»
β Ursae maj.	0,038	Chase
γ Ursae maj.	0,080	Pritchard
ε Pegasi	0,090	»
α Pegasi	0,080	»
α Cephei	0,052	»
ε Cygni	0,062	»
θ Ursae maj.	0,128	»
α Herculis	0,022	Kapteyn
δ Herculis	0,0.6	Jacob
π Herculis	0,084	Leavenworth
	0,11	Belopolsky
η Cassiop.	0,234	Struve
	0,257	Schweizer
	0,442	Dawis
η Herculis	0,40	Belopolsky
10 Ursae maj.	0,20	»
θ Cassiop.	0,232	Jacoby
δ Ursae min.	0,034	L. de Ball
δ Equulei	0,035	Leavenworth
ν^1 Dracon.	0,22	
ν^2 Dradon.	0,28	Belopolsky
	0,342	O. Struve
μ Cassiop.	0,026	Pritchard
	0,275	Jacoby
51 H. Cephei	0,027	L. de Ball
20 Leon. min.	0,062	Kapteyn
	0,324	Ball
1618 Groombr.	0,176	Kapteyn
9352 Lacaille	0,295	Gill
Struve 2398	0,353	Lamp

In questa tabella, oltre ad α Centauri, stanno ancora alcune stelle, che sono contemporaneamente stelle doppie, alle quali si può del pari applicare il calcolo

istituito più sopra. Ed in ciò è notevole, che in nessun caso vengano fuori masse, le cui grandezze s'allontanino di molto da quella del Sole. Ad esempio, per la stella η Cassiopejae la massa del sistema risulta eguale ad 8,4 masse solari, delle quali 6,8 spettano alla stella principale, 1,8 a quella secondaria. Nella stella doppia 70 Ophiuchi si trova una massa che supera di circa tre volte quella del Sole. Fra tutti i Soli, esaminati per questo rispetto, si mostra massima quella stella Sirio, che per essere la più lucida stella del firmamento ci appare anche come la più grossa. La massa della stella principale è uguale a 13,8 masse solari, quella della stella secondaria a 6,7. Si è già discorso sul rapporto anormale dell'intensità luminosa delle due stelle, così poco concordante con quello delle masse. Il puntiçino quasi evanescente nei raggi del potente Sole lontano ha secondo gli estimi recenti una forza di luce da 5—16 mila volte minore di quella della stella principale, mentre il suo globo contiene circa sette volte la massa del nostro gigantesco astro centrale.

Alle stelle doppie con parallasse si aggiunse in questi ultimi tempi Procione. La distanza, alla quale Schaeberle trovò il compagno, concorda col calcolo di precisione eseguito da Auwers deducendolo dal suo moto proprio variabile, calcolo che assegna al raggio dell'orbita il valore di circa un secondo d'arco. Se ora la parallasse di questa stella, che si ritiene eguale a $0''{,}24$, non è essenzialmente diversa dalla verità, allora risulta che ad una rivoluzione della durata di circa 40 anni corrisponde una massa molto debole di appena un ventesimo di quella solare. Però in questo caso non è improbabile, che la parallasse ammessa sia troppo grande, dal che si deve conchiudere ad una massa maggiore. Ad ogni modo i pochissimi saggi che noi possiamo fare paragonando la massa di stelle fisse con quella del Sole rivelano anche per rispetto alla grandezza delle masse una affinità di quei Soli col nostro.

Sarebbe altamente desiderabile di poter esaminare rispetto alla parallasse un molto maggiore numero di stelle. Ma poichè il far ciò in modo esatto, sarebbe un lavoro di mole enorme, così Ball si decise di applicare ad un maggior numero di stelle un procedimento all'ingrosso, per ottenerne eventualmente degli indizii di parallasse notevole, e quindi poi esaminare particolarmente le stelle che li avessero presentati. Egli osservò 368 stelle alle epoche nelle quali a cagione della loro posizione, dovrebbero mostrare valori estremi nei loro movimenti parallattici apparenti. Egli potè dimostrare che col suo metodo avrebbe dovuto scoprirsi una parallasse di più di $^3/_4$ di secondo. Ma fra le 368 stelle se ne trovarono soltanto due, di una parallasse avvertibile, che però stava sempre sotto quel valore limite. Si può quindi ammettere che, in media, le stelle a noi più vicine, abbiano al più una parallasse di $^3/_4$ di minuto secondo.

Nel prossimo capitolo esporremo ancora altri metodi che dànno all'ingrosso notizia circa le distanze delle stelle.

12. — Il moto proprio delle stelle fisse e del sistema solare.

Se ad intervalli di parecchie diecine d'anni si determinano ripetutamente al circolo meridiano le posizioni delle stelle fisse, e se si liberano queste osservazioni dall'influenza di tutti i movimenti apparenti, che noi abbiamo finora imparato a conoscere, riducendole tutte all'equinozio medio di un determinato anno, non risultano tuttavia per le medesime stelle identiche posizioni in cielo. Anzi in queste posizioni si notano dei tenui spostamenti, i quali per quanto ci fu dato di constatare fino ad oggi, si fanno con velocità uniforme ed in linea retta (strettamente parlando lungo cerchi massimi). Per contro la direzione e la velocità di questi movimenti o spostamenti sono individuali per ogni stella; almeno dal loro complesso non si manifesta a tutta prima alcuna legge, la quale dia qualche indizio che qui si abbia anche soltanto in un modo qualunque a fare con un movimento apparente, come quella precedentemente enunciata. Ora poichè dai tempi d'Ipparco in poi si sono ripetutamente compilati dei cataloghi stellari, così si è edotti dei movimenti proprii di parecchie migliaia di stelle. Ma le osservazioni soffrono di tanto maggiore incertezza, quanto più sono antiche, tuttavia a loro giova il grande intervallo che ingrandisce il valore complessivo del movimento proprio. Così, ad esempio, si può dimostrare, che la lucida stella d'Arturo nella costellazione di Boote, è stata spostata, dai tempi d'Ipparco in qua, dalla sua posizione di circa 2 volte e ½ la larghezza della Luna piena. Ora poichè in generale (noi vedremo ben presto alcune eccezioni) molte stelle, che per il nostro punto d'osservazione si raggruppano fortuitamente in costellazioni, sono dotate di movimenti proprii in direzioni molto diverse, così anche queste costellazioni apparentemente eterne, od almeno rappresentate sommariamente come tali dalle antiche tradizioni, anche come noi ancora le vediamo, vanno soggette ad un mutamento incessante, al quale da tutta l'eternità è soggetta la natura intiera. Così si può anche provare che la nota costellazione della *Grande Orsa*, aveva, 50.000 anni or sono, la figura che appare nella parte superiore del nostro disegno, e che fra 50,000 anni apparirà come nella parte inferiore del disegno medesimo.

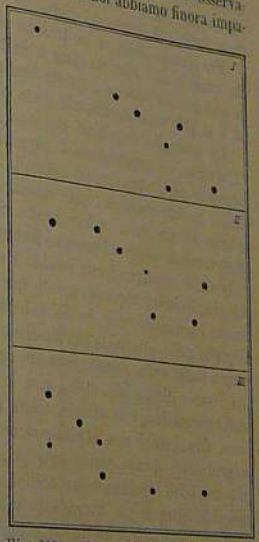


Fig. 282. — La costellazione della Grande Orsa: I. 50.000 anni or sono. II. Attualmente. III. Fra 50.000 anni.

Le grandezze di questi movimenti propri, si addimostrano, come già si disse, molto varie. Il massimo finora osservato spetta ad una stella di settima grandezza, al cui posizione è data da $AR = 11^h\,47^m,2$ e $D = 38°\,26'$: gli astronomi la designano come il N° 1830 del catalogo di Groombridge. Il suo movimento proprio lungo il cerchio massimo, ammonta in un secolo a 790 secondi. È per fermo molto notevole, che i movimenti propri più rapidi osservati non siano per nulla quelli delle stelle più lucenti; noi riproduciamo qui i dieci movimenti propri più rapidi (figure 283 e 284) e per confronto i movimenti propri relativi delle dieci stelle più lucide del cielo.

Fra queste stelle se ne trovano soltanto 5 di grandezza superiore alla sesta, che come si sa è ritenuta come il limite della visibilità ad occhio nudo. Ma quattro di esse stanno appena a questo limite, ed una solamente è di prima grandezza, ed è la più volte menzionata stella α Centauri.

Le molteplici cognizioni che siam venuti acquistando sulla costituzione dell'Universo, ne suggeriscono la supposizione, che anche qui, come d'altronde generalmente negli avvenimenti naturali, fenomeni simili siano compresi entro limiti simili; quindi anche le vere velocità dei movimenti propri si raggrupperanno intorno ad un certo valore medio. Se ciò avviene, allora i movimenti propri effettivamente osservati possono fornirci una qualche nozione sulla distanza media delle stelle corrispondenti; poichè il vero movimento medio deve per noi tanto più rimpicciolirsi apparentemente, quanto più la stella è lontana. Per questa trattazione è poi indifferente che noi vediamo soltanto una parte del movimento proprio di quelle stelle, giacchè la sua direzione secondo le tre dimensioni deve per noi projettarsi sulla volta celeste. Soltanto quando il movimento avviene normalmente alla visuale diretta alla stella, non lo vediamo in iscorcio; se esso si fa invece precisamente lungo la visuale, allora non si avverte alcun cambiamento di posizione. Ora, poichè non abbiamo alcun indizio della vera direzione del movimento proprio nello spazio, così a tutta prima, tutti gli angoli di projezione, cioè tutti gli scorci sono egualmente probabili. La media di tutti, dovrà quindi avere per una medesima distanza un determinato valore, che diminuisce al crescere di essa. Ma da questa trattazione noi vediamo pure, che le singole stelle possono benissimo fare un'eccezione a questa regola; anche in questo caso si tratta di alcune stelle minori, che fra le centinaia di migliaia di splendore eguale o minore sono, secondo ogni probabilità, a noi particolarmente vicine, così che il loro movimento proprio ci appare insolitamente grande.

Quindi nella grandezza del movimento proprio delle stelle, noi abbiamo un punto d'appiglio per la loro distanza, la quale si può trovare bensì molto più facilmente che colla misura diretta della parallasse, ma che pur tuttavia non resta mai altro che un punto d'appiglio che serve a giungere ad una ricerca più esatta. Tra le dieci stelle col massimo movimento proprio si trovano anche le due, che furono, a mezzo delle misure di parallasse, riconosciute come quelle a noi più vicine, α Centauri e 61 Cygni. Inoltre altre quattro fra esse hanno lasciato riconoscere parallassi notevoli. Nelle tabelle a pagine 686 e 687 abbiamo inserito anche le parallassi ad esse relative. Il fatto che le altre stelle della tabella menzionata non hanno finora mostrata alcuna parallasse è indizio di ciò che in realtà esistono

stelle, il cui vero movimento proprio è assai ragguardevolmente più rapido che non sia in media.

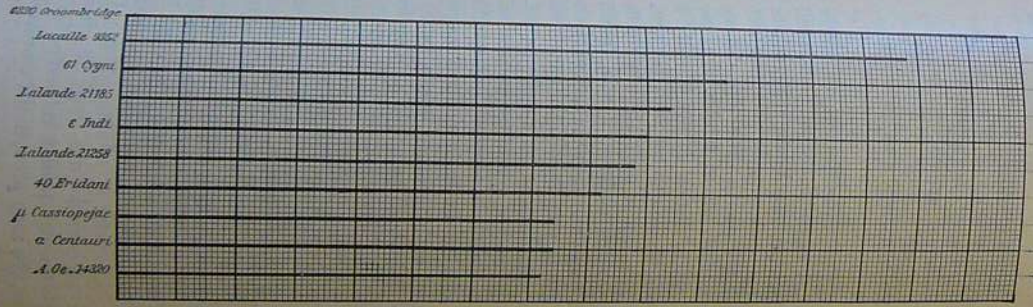


Fig. 283. — Movimento proprio, in cento anni, osservato, delle 10 stelle fisse che si muovono più rapidamente. Scala 1 mm. = 5".

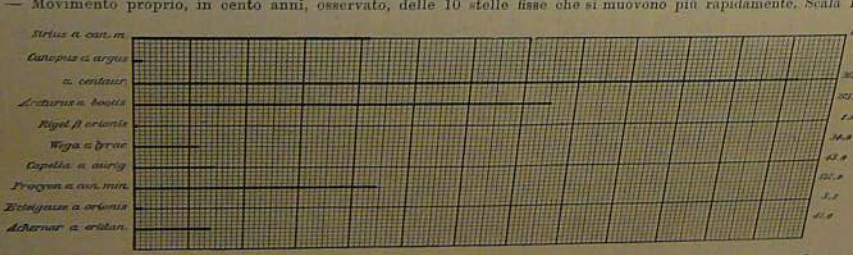


Fig. 284. — Movimento proprio relativo, in cento anni, delle 10 più lucide stelle del Cielo. Scala 1 mm. = 3".

Mentre pertanto, come era prevedibile, i casi estremi non corrispondono alla supposizione, che in generale, i movimenti propri diminuiscono al crescere della luminosità delle stelle, in media ciò si verifica per contro completamente.

Secondo un riassunto fatto da Mädler, un paragone delle posizioni delle stelle osservate da Bradley con determinazioni posteriori prova che si hanno in media i seguenti movimenti propri secolari:

65 Stelle di prima e seconda grandezza	22″,2
154 Stelle di terza grandezza	16,8
312 Stelle di quarta grandezza	13,7
696 Stelle di quinta grandezza	11,1
994 Stelle di sesta grandezza	9,0
921 Stelle di settima grandezza	8,6

Se ora, coll'appoggio di questi numeri si volesse trarre qualche conclusione sulle distanze relative, ciò sarebbe possibile nella supposizione, che i movimenti propri medi fossero ad un di presso uguali a tutte le profondità dello spazio celeste. Quindi il rapporto dei movimenti propri secolari, delle singole grandezze stellari, fra loro, ne darebbe contemporaneamente il rapporto delle loro distanze medie. Laonde dividendo il primo numero della nostra ultima tabella, 22,2, per l'ultimo, 8,6; si avrebbe nel quoziente 2,6, di quanto distino da noi le stelle di settima grandezza più di quelle di prima e seconda. Ma ciò non concorda per nulla colle determinazioni medie, che furono dedotte dal paragone dello splendore delle stelle col loro numero e distribuzione, e che meritano maggiore fiducia. Quindi tenendo dietro a questa questione della causa di questi movimenti propri, abbiamo in vista la possibilità, o meglio la probabilità, che le vere velocità dei movimenti propri crescano o diminuiscano regolarmente colla distanza delle stelle da noi.

Fino a qualche anno fa s'imponeva la convinzione, che le nostre cognizioni sui veri movimenti propri delle stelle rimarrebbero sempre incomplete, inquantochè noi vediamo soltanto la loro proiezione sulla sfera celeste. Ma la moderna scienza dell'analisi spettrale, ha saputo in questi ultimi tempi colmare questa lacuna, come apparentemente non sembrava possibile. Secondo il principio di Doppler Fizeau, già discusso a suo tempo, gli spostamenti di linee osservati nello spettro delle stelle mostrano dei movimenti lungo la visuale, e precisamente soltanto questa componente del moto proprio complessivo, che era quella che finora mancava a completare il moto proprio. Da principio questa maniera di determinazioni spettrometriche era ancora molto incerta, il che si può facilmente ammettere, quando si rifletta che uno spostamento di un decimo, di un millionesimo di millimetro, corrisponde ad un movimento di 75 km. al minuto secondo. Frattanto i metodi d'osservazione sono venuti man mano perfezionandosi straordinariamente, specialmente per mezzo del procedimento fotografico introdotto da Vogel in Potsdam, così che è possibile determinare il movimento di una stella fissa lungo la visuale con un'approssimazione di pochi chilometri al minuto secondo. La nostra tavola spettrale a pagina 351 mostra ad esempio una serie di rilevamenti di spettri di α Aurigae istituiti in Potsdam, dai quali a colpo d'occhio si possono riconoscere quegli spostamenti di linee, che sono prodotti dal movimento della Terra intorno al Sole.

Ci dovrebbe riempire di meraviglia il vedere, come per questa via, lo spettroscopio possa determinare con unità di misura intelligibili all'uomo, quei movimenti di stelle lungo la visuale che sfuggono appunto sempre alla visione diretta, mentre non conosciamo la distanza di quelle stelle da noi. Ma questa meravigliosa conquista solleva nel caso precedente una difficoltà non desiderata nelle nostre ricerche, perciò che le unità di misura per le determinazioni di queste due componenti sono affatto diverse e non riducibili l'una all'altra. Una componente viene trovata a mezzo delle osservazioni in unità di misura angolari, e non la si può esprimere in unità di lunghezza note, finchè non ci sia conosciuta la distanza alla quale avviene quel movimento. L'altra componente per contro è data immediatamente in un'unità di lunghezza, alla quale però al variare della distanza può corrispondere ad arbitrio qualsiasi angolo. Solo nei pochi casi, nei quali è nota la parallasse della stella, si può fare la conversione del dato angolare in unità di lunghezza. Noi siamo quindi, come prima, avviati per forza di nuovo verso determinazioni di valori medi. Nella tabella che si troverà più avanti riportiamo un certo numero di movimenti lungo la visuale, i cui valori sono ritenuti discretamente sicuri.

Alle stelle con movimento proprio più rapido appartiene Vega, la stella più lucida della costellazione della Lira. Essa è anche un esempio che serve a completare la nostra opinione, che su questo argomento ripetiamo dallo spettroscopio. Era infatti fin qui notevole, che questa stella lucida, che ha anche una parallasse ragguardevole, non mostrasse quasi alcun movimento proprio. Lo spettroscopio ci ha ora dimostrato, che quel movimento va per noi perduto soltanto in grazia della proiezione, giacchè questa stella si avvicina a noi quasi esattamente lungo la visuale, e con una velocità insolitamente grande. Con una parallasse di 0″,2 ed un movimento di 75 km. al minuto secondo, seguirebbe, dato che quel movimento si mantenga diretto precisamente verso noi, che questa stella raggiungerebbe il nostro sistema solare in 60 o 70.000 anni. Benchè tutte queste ipotesi non s'appoggino su basi molto sicure, e benchè specialmente, secondo tutto quanto l'esperienza acquisita fino ad oggi c'insegna intorno ai movimenti dei corpi celesti, il continuato movimento rettilineo sia un'impossibilità, tuttavia non è lecito dubitare preventivamente della possibilità, che nel corso lunghissimo delle ère, durante le quali si svolse l'evoluzione del sistema del mondo, si siano verificati degli avvicinamenti notevoli di altri Soli al nostro. È prevedibile, che gli astronomi dei secoli venturi constateranno delle variazioni progressive nello splendore delle stelle fisse, che a quanto ci attesta lo spettroscopio, vanno notevolmente alterando le loro distanze.

Movimenti propri di stelle fisse lungo la visuale.

α Cassiopejae	− 15 km.	P.	
β Andromedae	+ 12 „	P.	
γ Andromedae	− 12 „	P.	
α Arietis	− 14 „	P.	
α Persei	− 11 „	P.	
α Tauri (Aldebaran)	+ 49 „	P.	
α Aurigae (Capella)	+ 25 „	P.	
β Orionis (Rigel)	+ 24 „	H.	
α Orionis (Betelgeuse)	+ 14 km.	P.	
Nebulosa di Orione	+ 27 „	V.	
γ Geminorum	− 15 „	P.	
α Canis maj. (Sirius)	+ 75 „	V.	
α Canis min. (Procyon)	− 11 „	P.	
β Geminorum (Pollux)	+ 1 „	P.	
γ Leonis (Regulus)	+ 24 „	H.	
α Leonis	− 39 „	P.	

α Bootis (Arcturus)	— 8 km. P.	α Lyrae (Wega)	— 81 km. V.
ϵ Bootis	— 17 „ P.	α Aquilae (Atair)	— 75 „ V.
β Ursae min.	+ 14 „ P.	γ Cygni	— 6 „ P.
β Herculis	— 35 „ P.	α Cygni (Deneb)	— 6 „ P.
ζ Herculis	— 60 „ D.	ϵ Pegasi	+ 8 „ P.

P = Osservazioni di Potsdam; V = Antiche osservazioni di H. C. Vogel; H = Osservazioni di Huggins; D = Osservazioni recenti di Deslandres in Parigi.

Il fatto mostrato già dai massimi movimenti propri secolari, che cioè non sempre da un tal movimento forte si può concludere ad una grande vicinanza della stella corrispondente, si ripete nei movimenti propri determinati spettrometricamente. Uno di così fatti massimi movimenti è posseduto da Aldebaran con 48 km. al minuto secondo; ma finora questa stella non ha mostrato alcuna parallasse avvertibile.

Ma stante l'incertezza nella quale pur sempre ci troviamo per rispetto all'enorme distanza delle stelle fisse, bisogna pur venire a mettere insieme gli accenni di prove, e si può ancora addurre qualche considerazione che tenendo conto delle due componenti del movimento proprio ci permetta di trarre una conclusione sulla distanza delle stelle più vicine. In ciò fare noi ci appoggiamo alla supposizione, che i massimi movimenti propri delle due sorta finora trovati corrispondano all'incirca a distanze eguali. Questi valori sono rispettivamente 7″ all'anno e 50 km. al secondo. La nostra supposizione vuole quindi che il percorso lineare, che alla distanza sconosciuta corrisponde, a questo valore angolare di 7″, venga percorso da un corpo che ad un tempo cammina con una velocità di 50 km. al secondo. Con ciò abbiamo il percorso espresso una volta con una unità di misura nota, ed un'altra volta angolarmente e possiamo quindi senz'altro determinare la distanza. Chiamiamo perciò s il movimento proprio lungo la visuale e quello di 7″ ad esso perpendicolare e, chiamiamo inoltre a il numero di secondi nell'anno, e c il numero di chilometri misurati dalla distanza solare. Allora avremo la distanza cercata espressa in distanze solari: $d = \frac{s\,a}{c \operatorname{tang} e}$, dal che si deduce 300.000 distanze solari, che pel caso nostro è un numero che s'accorda molto bene coi risultati delle determinazioni dirette di parallasse.

Kleiber ha trattato, secondo lo stesso principio, 22 stelle, il cui movimento lungo la visuale è stato determinato più esattamente a mezzo di osservazioni istituite in Potsdam, e che noi abbiamo riportate nella nostra precedente tabella. Egli riesce a trovare per parallasse media di quelle stelle 0″,07, e quindi per la distanza, in cifre rotonde 2,75 millioni di raggi dell'orbita terrestre. La grandezza media di quelle stelle è 1.8. A seconda delle discussioni svolte e delle nozioni acquistate sulla distribuzione media delle stelle nello spazio, le stelle di questa grandezza dovrebbero in media esserci più vicine; ad esse spetterebbe una parallasse di 0″,117. Ciò non pertanto il divario fra i due risultati di un calcolo di probabilità fondato sopra poche stelle, non è troppo grande. Però anche qui sembra apparire un indizio del fatto, che la supposizione di una distribuzione regolare delle direzioni del movimento non è sostenibile. Se i movimenti delle stelle fisse sono, in modo analogo a quelli dei pianeti nel sistema solare, disposti attorno ad un piano, dal quale anche il nostro Sole non è troppo discosto, allora i movimenti secondo

una componente debbono necessariamente predominare su quella ad essa normale: così ad esempio, nel sistema solare i movimenti dei pianeti lungo la visuale sono molto piccoli rispetto a quelli che si svolgono circolarmente.

Fin qui fu possibile per sole 11 stelle il determinare i veri movimenti propri nello spazio, al che occorrono le tre determinazioni del movimento proprio secolare, dello spostamento delle linee nello spettroscopio e della parallasse. Nella tabella seguente diamo per queste stelle i relativi valori trovati da Kobold.

Movimento vero delle stelle nello spazio, secondo H. Kobold.

Stelle	L	B	π	l	b	σ	$\sigma \cos b$	$\sigma \operatorname{sen} b$
β Persei . . .	111,7°	−16,0°	0,05″	349,4°	+ 9,7°	2,22 km.	2,19 km.	0,38 km.
α Tauri . . .	146,2	−22,0	0,101	157,6	− 25,8	48,84 »	44,01 »	− 21,46
α Aurigae . .	128,7	+ 3,1	0,095	166,2	− 14,5	32,56 »	31,52 »	− 8,14
α Orionis . .	165,8	−10,5	0,022	155,5	+ 5,0	17,78 »	16,21 »	+ 1,48
α Canis maj. .	193,3	−10,1	0,38	342,4	− 25,2	22,20 »	19,58 »	− 9,62
α Canis min. .	179,5	+11,0	0,341	303,6	− 59,2	19,24 »	9,82 »	− 16,28
β Geminorum .	158,2	+21,0	0,057	122,7	− 62,6	52,54 »	24,42 »	− 45,88
α Leonis . .	191,4	+47,6	0,089	123,9	− 62,0	17,62 »	8,14 »	− 14,80
α Bootis . . .	341,7	+70,8	0,016	248,3	+ 0,5	671,92 »	671,80 »	+ 7,4
α Lyrae . . .	33,9	+20,1	0,092	160,0	− 24,0	23,68 »	21,44 »	− 9,82
α Aquilae . .	1,5	− 7,6	0,214	185,5	− 1,3	39,96 »	39,94 »	− 0,74
Sole { L. Struve	—	—	—	24,5	+ 27,1	—	—	—
Sole { Kobold	—	—	—	349,6	+ 12,4	—	—	—

In questa tabella le lettere hanno i significati qui sotto indicati: L e B sono la longitudine e la latitudine delle stelle, riferite al piano gallattico, π è la parallasse, l e b sono la longitudine e la latitudine del punto cui tendono i movimenti, σ il movimento nello spazio corrispondente ad un secondo di tempo, $\sigma \cos b$ e $\sigma \operatorname{sen} b$ le componenti di esse nel piano della Via Lattea e normalmente ad esso.

Il grande movimento di α Bootis (Arturo) è qui manifestamente solo un risultato di calcolo che merita poca fiducia; giacchè i valori s'ingrandiscono molto rapidamente al diminuire della parallasse, e la parallasse di questa stella, è determinata soltanto molto poco sicuramente in 0″,016; il movimento lungo la visuale secondo la tabella a pagina 694 ammonta a soli 8 km. Se lasciamo in disparte questa stella, dalle dieci rimanenti stelle otteniamo, come media, un movimento nello spazio di 27,4 km. al minuto secondo.

I numeri dell'ultima tabella sono disposti in modo particolare secondo la posizione delle stelle nel così detto piano gallattico. Nel capitolo dedicato alla Via Lattea, abbiamo già discorso della distribuzione sistematica delle stelle per rispetto a questo piano; quindi se ci facciamo a ricercare una legge nei movimenti propri, così a tutta prima appare come probabile la supposizione che questa legge abbia una qualche relazione col piano della Via Lattea. E realmente nei pochi numeri trascritti si manifesta già alcunchè di simile. Noi comprenderemo meglio ciò, dopo che avremo discorso di un'altra particolarità dei movimenti propri.

Circa un secolo fa, riuscì ad Herschel di dimostrare che le direzioni dei movimenti propri non appaiono distribuite a caso sulla volta celeste, ma che almeno

all'ingrosso ed in complesso, essi movimenti avvengano come se le stelle staccandosi l'una dall'altra divergessero da una certa regione che sta nella costellazione di Ercole, ed apparentemente andassero riavvicinandosi nella direzione opposta. L'assieme del fenomeno ha pertanto una certa rassomiglianza con quello che noi abbiamo già incontrato nelle pioggie periodiche delle stelle cadenti, con questa sola differenza che i movimenti procedono molto più lentamente. Di questo fatto accertato si potè trovare una sola spiegazione, ammettendo che il Sole con tutto il suo corteo di astri abbia del pari un movimento proprio il cui *apex* è posto nella costellazione di Ercole. Poichè finora, abbiamo riscontrato esistere per ogni rispetto una stretta relazione tra il Sole e le stelle fisse, e d'altra parte, neppure una stella risultò immobile, così si poteva fin da principio ammettere, che anche il Sole ha un movimento proprio, che si ripercuote in quello delle rimanenti stelle. Quindi anche questi movimenti sono, in parte, soltanto apparenti. Dopo Herschel, altri astronomi si accinsero a determinare l'*apex* del Sole, ed in modo particolare, Mädler, Argelander ed O. Struve; quest'ultimo trovò per questo punto A. R. = 261°,5 e D = + 37°,6. Le determinazioni di altri astronomi più moderni concordano entro alcuni gradi, colla posizione riportata. Due valori trovati di recente, partendo però da supposizioni diverse, sono trascritti al fine della tabella precedente, riferiti al piano della Via Lattea. Rispetto all'equatore le coordinate di questi punti sono: A. R. = 266°,2, D = + 32°,5, e A. R. = 266°,4, D = − 3°,3 (*a*).

Fig. 285. — F. Guglielmo Herschel, nato nel 1738 in Hannover, morto nel 1822 a Slough (Inghilterra). Da una incisione di C. Müller.

(*a*) [L'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, così scrive a questo proposito: " En 1888, M. L. Struve a publié sur ce sujet un important Mémoire, basé sur l'étude des mouvements d'un grand nombre d'étoiles. En combinant ses résultats avec ceux obtenus antérieurement, il trouve pour coordonnées de l'apex

A R = 266°,7 D = + 31°,0 .

M. L. Boss entreprit, en 1889, une nouvelle étude de la question; il estime qu'il vaut mieux adopter les valeurs suivantes:

A R = 280° D = + 40°.

La comparaison de ces deux évaluations montre la difficulté d'arriver à une approximation précise de la position de l'apex ".

(O. Z. B.)].

I movimenti propri trovati spettrometricamente ci offrono al pari dei movimenti propri secolari, un mezzo di determinare il movimento di traslazione del sistema solare. Ma però siccome fino ad oggi soltanto poche stelle poterono essere esaminate con quel metodo, così il risultato che si deduce da quelle osservazioni è ancora molto mal sicuro. È però interessante il notare che Vogel in Potsdam, dai movimenti lungo la visuale di 51 stelle ricavò per la posizione dell'*apex* la copia seguente di numeri A. R. $= 206°{,}1$ e D $= +45°{,}9$, cioè sempre una direzione simile, a quella fornita da quell'altro metodo affatto differente. Il risultato trovato spettrometricamente ha però sull'altro il vantaggio di permettere di trovare contemporaneamente anche la velocità colla quale il sistema solare si muove nello spazio; velocità che risulta di 11,6 miglia geografiche, ossia 86 km. al minuto secondo. Però questo valore cambia notevolmente, quando si prenda a base del calcolo per la direzione, il valore naturalmente molto più attendibile fornito dai movimenti propri secolari. Allora si ottiene per la velocità di traslazione del sistema solare il valore di 7,7 miglia geografiche, ossia 57 km. al minuto secondo.

Benchè ai valori qui addotti per la direzione e grandezza del movimento proprio del sistema solare si debbano per certo apportare in avvenire delle notevoli modificazioni, tuttavia della cosa stessa non si può dubitare, ed essa è tale evidentemente da riempirci di meraviglia più di qualsiasi altra scoperta astronomica. Già il sistema Copernicano, aveva suscitato nelle nostre idee intorno alla costituzione dell'universo, una tale rivoluzione, che occorsero all'umanità ben 400 anni, per abituarsi al concetto che la nostra dimora non è fissa nell'universo, ma circola attorno ad un maggiore centro del mondo. È poi, a più forte ragione, difficile ad afferrare e ad ammettere l'idea, che anche quel maggior centro non sta fermo, ma che anzi, tutto il gran sistema dei pianeti colle sue centinaia di mondi corre attraverso lo spazio, come se tutti questi mondi fossero fra loro rigidamente connessi, e che così non sia più possibile trovare in nessuna regione dell'universo un punto che sia fisso. Molti quasi pensano che tutti i nostri concetti, tutte le cognizioni accumulati fin qui sull'organizzazione dell'universo debbano venir sottoposti ad una completa rivoluzione, poichè i movimenti che noi attribuimmo fino ad ora ai pianeti ed alla nostra Terra, non sono i veri e propri movimenti onde essi sono animati nello spazio. Così, ad esempio, suppongasi che si confermino i valori dati poc'anzi per il movimento di traslazione del Sole, allora la Terra, all'epoca in cui a cagione del suo moto intorno al Sole sembra allontanarsi dalla costellazione di Ercole, in realtà andrebbe incontro ad essa, poichè il movimento di traslazione supera d'assai la velocità di rivoluzione della Terra: quest'ultima vale circa 30 km. al minuto secondo.

Ma sarebbe mala ventura per le scienze astronomiche, se noi per stabilire i movimenti dei corpi celesti abbisognassimo assolutamente dei loro valori assoluti: poichè intorno a questi noi non sapremo mai nulla di certo, giacchè non è possibile di additare nell'universo senza confini un punto, che si sappia essere realmente fermo, così che da esso si possano misurare i movimenti constatati. Supponiamo per un momento, che un dato punto, scelto ad arbitrio, sia fermo, e neppure allora noi possiamo realmente esprimere secondo qual direzione e con quale velocità ci muoveremo nella unità di tempo immediatamente successiva. Per contro le nostre indagini ci hanno posto in grado di chiarire in quale maniera vada cambiando,

in un certo numero di unità di tempo successive, la posizione delle rette congiungenti il nostro punto di stazione con due o più punti dello spazio accessibili ai nostri mezzi ottici. Questi cambiamenti relativi di luogo sono però i soli che possono interessarci o che possono avere un valore per noi. All'ulteriore accettazione delle conquiste fatte fin qui dalla scienza astronomica non si oppone nè più nè meno di quanto vi farebbe ostacolo se noi volessimo credere, che dal giorno in cui ci consta che la Terra gira intorno al proprio asse, per spedire un oggetto da un punto della superficie terrestre ad un altro si richiedano mezzi differenti da quelli impiegati prima, e ciò perchè il cammino reale, che il corpo deve percorrere rispetto al centro della Terra, è affatto diverso da quello che percorrerebbe se la Terra stesse ferma. E gli astronomi non ebbero, neppure a suo tempo, a mutar nulla alla teoria della Luna allora ammessa, quando riconobbero che la Luna non circola intorno alla Terra ferma, ma con questa attorno al Sole. Si avrebbero a superare ben maggiori difficoltà, nel computare numericamente questi movimenti, quando si riguardasse la Luna come un corpo circolante attorno al Sole, e soggetto contemporaneamente all'influenza della Terra, giacchè allora bisognerebbe applicare l'insoluto problema dei tre corpi. È interessante il rappresentarsi sopra un disegno, come sia conformata la curva effettiva descritta dalla Luna attorno al Sole supposto fermo. Noi vediamo che quest'orbita non forma, come si potrebbe a tutta prima congetturare, dei nodi, ma è in complesso simile all'orbita terrestre, e rivela l'influenza del movimento attorno alla Terra, solo a mezzo di leggiere ondulazioni. In cospetto di questa maniera d'orbita, sarebbe del tutto naturale il riguardare la Luna come un altro pianeta, che circola direttamente attorno al Sole e che subisce notevoli perturbazioni dalla Terra che si mantiene ad esso sempre vicina. Ma col metodo seguìto finora, che suppone prima il centro della Terra fermo e fa muovere la Luna attorno ad esso, considerando poi soltanto dopo l'influenza dell'attrazione del Sole e degli altri pianeti sul sistema Terra-Luna insieme, si giunge facilmente e con eguale sicurezza allo scopo.

Fig. 286. — Forma delle orbite dei due più interni satelliti di Giove, rispetto al Sole supposto fermo.

Fig. 287. — Orbita della Luna riferita al centro del Sole.

Naturalmente, neppure la cognizione esatta del movimento di traslazione del Sole, come l'abbiamo inteso fin qui, ci potrebbe dire cosa alcuna sopra il movimento assoluto del Sole, giacchè anche questo è solamente relativo, per rispetto al complesso di stelle fisse che ci circondano, e dall'osservazione delle quali noi lo deduciamo. Ma questo complesso, il gran sistema della Via Lattea, può a sua volta avere un movimento comune, del quale noi potremo un giorno conoscere qualche cosa, quando ci saremo intorno ad esso accertati che questa Via Lattea non è altro che un ammasso stellare, come migliaia d'altri sparsi per il Cielo, e quando dallo studio dei movimenti propri di questi ammassi stellari avremo dedotto una legge. Ed anche allora non sapremo nulla di assoluto sui movimenti della materia, giacchè l'àmbito, al quale possono estendersi le nostre ricerche, è

soltanto casualmente limitato dalla nostra capacità di costruire dei cannocchiali, e per quante migliaia d'anni possano occorrere alla luce, per giungere da quei confini a noi, nulla ci vieta la congettura, che in tutti i mondi che saranno accessibili alla vista dell'uomo sussista un comune impulso, che trascini in una direzione per sempre ignota il grande sistema delle Vie Lattee, suscitato da forze sull'ubicazione delle quali nulla mai potremo investigare. L'ordinamento sistematico rivelato dalla distribuzione delle nebulose in Cielo, ci addita quest'ultimo e sublime legame dei sistemi di mondi a noi visibili.

L'esistenza di questo moto di traslazione del sistema solare può essere dedotta anche da altri fatti oltre che dai movimenti propri delle stelle. Noi ne abbiamo già toccato in occasione dei movimenti delle comete: se le comete provenissero dalle sfere d'attrazione di altri soli giungendo in quella del nostro, allora quelle i cui afelii stanno nella direzione della costellazione d'Ercole, dovrebbero penetrare nel nostro sistema, con una velocità relativa maggiore di quella posseduta da quelle che giungono dalla direzione opposta; inoltre noi dovremmo anche veder giungere da una direzione comete preponderantemente iperboliche, e dall'altra comete pronunziatamente ellittiche. Ma ciò non è. Si deve pertanto ammettere, che anche le comete, per quanto esse possano giungere a noi da spazi lontani, partecipano al moto di traslazione del sistema solare. Certamente tale è il caso per alcune meteore cosmiche, delle cui velocità fortemente iperboliche abbiamo ripetutamente tenuto discorso.

È degno di molta meditazione un pensamento di Klinkerfues, il quale per trovare qualche spiegazione del movimento assoluto della Terra nell'Universo, in uno spazio completamente chiuso ed impenetrabile alla luce del giorno ed alle altre luci, fece la supposizione, che la sostanza a noi sconosciuta, che è l'ambiente delle onde luminose, e che designamo col nome di etere cosmico, si debba riguardare come in riposo nello spazio, quando non sia sottoposto all'azione di alcuna sorgente luminosa. Le onde eteree che si dipartono da una sorgente artificiale di luce, verrebbero con una particolare disposizione dell'esperimento a subire nella direzione del vero movimento di questa sorgente di luce, una resistenza da parte dell'etere in riposo, maggiore che nella direzione opposta, quindi dovrebbe verificarsi uno spostamento delle linee, di una sorgente qualunque che venisse esaminata spettroscopicamente in uno spazio completamente oscuro. Però gli esperimenti istituiti a Gottinga non condussero ad alcun risultato decisivo. Si può quindi dubitare anche che le supposizioni poste a base di essi siano giuste.

Il movimento del sistema solare nello spazio ci pone, rispetto alle altre stelle fisse, in una posizione simile a quella del movimento della Terra intorno al Sole, rispetto agli altri pianeti: abbiamo i movimenti apparenti, che sono prodotti soltanto dal nostro movimento proprio, i quali devono essere separati da quelli veri. Prima che noi potessimo ciò fare per i pianeti, i loro movimenti ci apparvero molto complicati, e fu molto difficile il ricavare da essi un'unica legge. Il Copernico per il sistema della Via Lattea è già venuto in Guglielmo Herschel, ma manca ancora ad esso il Keplero, ed anche con una certa restrizione il Newton. Keplero potè soltanto scoprire la sua legge di riforma, quando ebbe a sua disposizione un gran numero di eccellenti osservazioni dei movimenti dei pianeti; è d'uopo che se ne abbiano anche di tali per le stelle fisse, perchè possa venire il loro

Keplero. Ora poichè questi movimenti avvengono molto più lentamente di quelli dei pianeti, così bisogna far conto che s'abbiano ad attendere, non una, ma parecchie migliaia d'anni, prima che quella condizione si avveri. Questa considerazione ci prova, come l'Astronomia, sebbene di gran lunga la più antica fra le scienze, cammini pur sempre ancora colle dande, e come corrispondentemente all'immane estensione del suo campo d'indagini siano anche necessari intervalli di tempo straordinariamente lunghi, che le consentano di compiere il suo lavoro. I lavori che la generazione presente compie nelle tranquille ore della notte, sono soltanto le fondamenta, che noi astronomi dell'oggi prepariamo per gli astronomi dei secoli futuri.

Anche l'osservazione prolungata dei movimenti entro al nostro sistema solare, può e deve nel corso di migliaia d'anni fornirci delle nozioni sul moto traslatorio di esso: giacchè come i pianeti agiscono l'uno sull'altro, così deve avvenire per le stelle fisse la cosa medesima. Le forze centrali, che noi sappiamo irradiare dagli altri Soli, devono farsi sentire fino da noi; ma per questi vale ancora, più energicamente che per i sistemi secondari nel regno del Sole, la legge, che per un corpo attraente sufficientemente lontano, si possono riguardare le singole parti di un sistema, come riunite nel centro di gravità di esso. La forza attraente dei millioni di Soli che ci circondano, può e deve essere ragguardevole sul nostro sistema. Noi non sappiamo, ma possiamo ammettere, che il movimento di traslazione del Sole, sia una conseguenza di questa attrazione; ma alla distanza immensa, che ci separa da questi altri Soli, quest'azione ha la medesima intensità per tutta l'estensione del sistema planetario, e perciò non è subito avvertibile, giacchè noi che partecipiamo ai movimenti, possiamo determinare unicamente le loro differenze. Ma già vedemmo, come non sia possibile scartare ad arbitrio la possibilità almeno, che un altro Sole venga d'assai accostandosi al nostro, col che quindi certi termini delle perturbazioni secolari, dei quali parlammo più avanti, vengono ancora ad essere moltiplicati per un fattore che si rende sensibile soltanto in migliaia d'anni.

Non appena si saprà qualche cosa di meglio preciso intorno al nostro movimento di traslazione, anche le distanze delle stelle fisse saranno determinate in modo molto più esatto di quel che siano ora, giacchè allora saremo in possesso di una base molto più lunga di quella, che il diametro dell'orbita terrestre offre alle determinazioni di parallasse. Se il Sole si muove realmente in linea retta di 56 km. al minuto secondo, allora in un secolo noi ci siamo spostati di 500 diametri dell'orbita terrestre ed abbiamo quindi a nostra disposizione una linea di base d'altrettanto lunga più di quella di prima per la misura delle distanze delle stelle fisse. Forse un giorno si arriverà a conoscere qualche cosa sulla distanza delle stelle fisse in modo simile a quello che a mezzo della terza legge di Keplero, ci permise di conoscere le distanze dei pianeti, che in parte sono del pari da noi troppo discosti, perchè una misura diretta della parallasse potesse fornirci un pratico risultato. Ciò naturalmente presuppone che ci siano divenute note le leggi dei movimenti secondo le quali i Soli del sistema della Via Lattea sono complessivamente costretti a muoversi in orbite fissse.

Ma per il momento una tal meta è ancor molto lungi da noi, benchè la nostra ben concepibile impazienza di conoscere quella grande organizzazione di un

mondo di Soli, ci abbia spinto a molti sforzi per accostarvici. Ci manca ancora il materiale necessario per tali ricerche, che restano sempre relativamente difficili ed incerte, come se possedendo osservazioni dei pianeti durate un'ora sola, volessimo ciò nondimeno conoscere la costituzione del sistema planetario.

Inoltre per quelle indagini ci manca ancora l'appoggio della conoscenza del valore o meno della legge di Newton per i movimenti di questo complesso di stelle fisse; e quindi anche se si ammettesse la validità di quella legge, resta sempre il fatto che la teoria da applicarsi ai fenomeni di moto entro un ammasso di materia così diffuso, senza un centro materiale preponderante, non è ancora svolto abbastanza. Ma noi non sappiamo nulla affatto intorno alla posizione di questo centro del grande sistema. Le ricerche istituite a suo tempo da Madler intorno a questo argomento, e che additavano al Gruppo delle Plejadi, e particolarmente alla stella Alcione in esso gruppo, come il centro dei movimenti propri determinati fino a quel giorno, non ressero alla critica. Le condizioni non sono così semplici come Madler se le era rappresentate, e ad ogni modo non è lecito supporre che i movimenti dei singoli Soli nell'ammasso stellare al quale noi apparteniamo, avvengano così come se tutte le loro masse fossero riunite nel centro di gravità di esso, di guisa che i movimenti dovrebbero divenire tanto più celeri, quanto più il corpo che si considera è vicino a quel centro, come avviene nel sistema planetario. Invece, dalla legge di Newton si ricava, che l'azione reale del complesso diviene tanto più debole, quanto più vicini si è al centro di esso; le condizioni devono essere qui manifestamente simili a quelle che troveremmo nell'interno della Terra. Ma per questo già si è visto, che il guscio sferico, che ha un raggio maggiore di quello sul quale sta il punto attratto che si considera, non esercita su di esso azione di sorta. Ora poichè secondo tutte le apparenze la massa principale dell'ammasso stellare a spirale o ad anello della nostra Via Lattea, è accumulata precisamente in questa, cioè nell'anello più esterno, così nell'interno di questo anello, cioè dove si muove il nostro sistema solare, quest'innumerevole esercito di milioni di Soli, che per noi costituisce la Via Lattea, rimarrebbe senza effetto sul movimento di traslazione del sistema solare. La velocità di questo movimento pertanto, secondo questo modo di vedere, dovrebbe essere notevolmente inferiore alla media, che si potrebbe dedurre dal complesso delle stelle. Le velocità debbono quindi, col procedere verso la Via Lattea, crescere dapprima lentamente e poi in maggior grado, e ciò specialmente entro la Via Lattea stessa. Soltanto verso il lembo esterno di essa l'aumento della forza attraente, per l'accrescersi delle masse, non potrà più far equilibrio alla diminuzione quadratica prodotta dall'aumento della distanza dal centro, ed i movimenti quindi diverranno di nuovo più lenti. Fino a dove avvengano, per questo rispetto, delle modificazioni, lo si potrà intravedere, allora soltanto quando sapremo qualche cosa di più certo sulla densità della distribuzione delle masse nelle varie regioni del nostro ammasso stellare.

Su questa distribuzione delle masse, neppure lo studio proseguito della distribuzione apparente delle stelle visibili sul cielo può dare completa notizia, giacchè senza dubbio queste rappresentano soltanto la parte più piccola delle masse esistenti realmente entro il complesso. La condizione di luminosità di un corpo celeste può essere soltanto transitoria, e si ha grande probabilità che nell'evoluzione degli astri, la durata del periodo di luce sia molto breve. È d'uopo quindi ammettere

che il numero dei corpi invisibili sia negli spazi celesti molto maggiore di quello dei corpi dei quali l'esistenza ci è rivelata dalla luce. Un giorno certamente potremo dai movimenti di questi corpi visibili dedurre alcunchè tanto intorno all'azione complessiva, quanto a quella individuale di alcuni di quei corpi invisibili. Ma la disamina di questa questione apre agli astronomi un campo di lavoro, che occuperà la loro attività per alcune migliaia d'anni.

I primi tentativi per scoprire l'ordine che, senza dubbio, informa i movimenti entro il sistema della Via Lattea, furono fatti in questi ultimi tempi; sono a segnalarsi per questo rispetto in modo speciale i lavori di L. Struve, Kobold Ristenpart e Stumpe, che però tutti si propongono principalmente per iscopo di determinare la posizione dell'*apex* solare, ma che naturalmente ciò facendo non possono trascurare la questione dell'ordine più generale del sistema. È pregio dell'opera il rammentare qui, che l'ipotesi già messa innanzi da Schönfeld, che i movimenti delle stelle avvengano generalmente nel piano dell'eclittica, in orbite dirette e poco eccentriche, sembra confermarsi. Qui calzerebbe egregiamente un confronto coi movimenti nel nostro sistema planetario.

Per ultimo si è trovato, che certi gruppi stellari estesi costituiscono un tutto fisicamente connesso, poichè i loro singoli membri eseguiscono dei movimenti propri connessi. A questi gruppi appartengono in prima linea le Plejadi, e la ben nota costellazione della Grande Orsa. Le indagini di Pritchard ed Höfler hanno reso probabile che un certo numero di stelle di questi due gruppi, oltre al movimento proprio comune abbiano ancora un movimento centrale: cosicchè esse debbono riguardarsi quali grandi sistemi connessi di corpi celesti. Ma nei due casi, come era da prevedersi, non tutte le stelle sono fra loro connesse in quel modo. Alcune, che camminano in direzione affatto opposta, si trovano quindi probabilmente molto avanti o dietro quei gruppi di stelle. In altri gruppi le stelle sono bensì abbastanza lontane l'una dall'altra, per non costringersi reciprocamente ad orbite circolari, ma includono per contro una regione comune, nella quale l'azione delle masse di tutto il sistema della Via Lattea, rimane ancora per tutte queste stelle, quasi lo stesso. Queste hanno quindi movimenti propri quasi uguali nella medesima direzione.

13. — La gravitazione.

Le nostre ultime considerazioni ci hanno condotto ai confini estremi di quella parte dell'Universo, a vedere la quale valgono ancora le nostre forze visive. Il nostro sguardo, dai tempi di Copernico, e dopo la scoperta del cannocchiale libero dai vincoli dei pregiudizi primitivi, si è spinto lontano lontano, fino a quegli ultimi confini! Ai tempi dell'antichità classica greca, il concetto del mondo non abbracciava di più di una ristretta plaga della superficie terrestre, appena larga come l'Europa, e quel firmamento che s'incurvava su quella plaga roteante coi corpi celesti valletti della Terra, era sospeso sulla vetta delle più alte montagne. Soltanto pochi pensatori vedevano più ampio l'àmbito del mondo; ma, in modo

da non credersi, si rimase avversi alle loro dottrine. Lentamente, lentamente assai, si andò svolgendo il concetto dell'Universo, per la prima la Terra dovette venir conquistata dalle nostre cognizioni. Ma anche quando a mezzo delle misure di grado si riuscì nell'antichità a determinare con calcoli teorici, assai prossimamente al vero, la reale grandezza della Terra, la gran massa della gente, che non poteva tener dietro ai computi matematici, prestava poca fede ai risultati di quei calcoli finchè non si girò attorno all'Africa, e scoperta l'America si compì navigando il giro intorno alla Terra. Il cielo andava ognor più allontanandosi, la Terra conquistata, offriva una base ognora maggiore, e finalmente già anche prima di Copernico, non fu più possibile sfuggire alla persuasione, che colà nel firmamento si libravano corpi celesti, che in parte, come segnatamente il Sole, dovevano essere più grandi della Terra stessa, per quanto questa fosse nel frattempo divenuta grande alla nostra cognizione. Poi Copernico rimosse d'un tratto la Terra dal centro del mondo e le assegnò una posizione secondaria nell'Universo. I cinque astri erranti del firmamento divennero i suoi pari; si videro altri mondi, accanto alla Terra, errare come essa pel cielo, e rispetto ad essi divenne sempre più piccolo quello, che prima si chiamava il mondo: quella Terra, sulla quale potrebbe assalirci il capogiro, se riflettessimo alla furia colla quale senza posa roteando, essa ci trascina seco attraverso lo spazio. Ma neppure Galilei, come già avvertimmo, aveva creduto che la distanza delle stelle rispetto a quella del Sole fosse molto grande, così che durante la rivoluzione annua della Terra, fosse possibile il riconoscere il movimento parallattico delle stelle fisse col semplice mirare al campanile di una chiesa. Ed in ciò bisogna ancora riflettere, che allora la distanza del Sole era ritenuta molto più piccola di quella si ammetta oggi.

Poi venne la scoperta del telescopio, e con esso s'aumentò smisuratamente il numero dei mondi noti, e tutti questi millioni di stelle fisse divennero Soli come il nostro. Se fino ad allora, il concetto del mondo era venuto svolgendosi ed ampliandosi soltanto con passo enormemente lento, nel secolo decimosesto e nel decimosettimo l'occhio spirituale dell'umanità giunse ad abbracciare un'idea del creato di una grandiosità tanto comprensiva, che fu allora, a tutta prima, possibile soltanto a pochissimi il tener dietro ai grandi pensatori, che ci dotarono della nuova conoscenza sulla costituzione dell'Universo. Anche oggi la maggior parte della umanità è ben lungi dall'essersi assimilata l'idea, che tutta questa Terra, il mondo, come oggidì ancora noi lo chiamiamo, sia solo un individuo perduto fra millioni di altri, che conta certo molto meno di un uomo solo fra i popoli della Terra, e che da noi soltanto è soltanto tanto in alto, come il proprio Io, che si stacca dalla folla degli altri. E non è neanche a meravigliare se le potenti serie di pensamenti cui la dottrina copernicana aprì il campo, vadano facendosi strada così lentamente. Lo sviluppo del sapere generalmente esteso, in cospetto dei larghi strati nei quali esso deve penetrare, richiede una certa continuità; il repentino balzo dell'Astronomia dopo Copernico richiedeva necessariamente una forte resistenza, affinchè quella continuità venisse conservata.

Frattanto il processo d'allargamento delle nostre cognizioni sull'Universo progredisce energicamente. Ogni perfezionamento dei nostri mezzi di misura venne, per così dire, aggiungendo un'infinità ad un'altra. Non soltanto perchè s'andavano scoprendo sempre più stelle, ma anche perchè i limiti fino ai quali le parallassi

delle stelle fisse sono ancora misurabili, vennero ognor più portati lungi, e le distanze crescinte del pari. L'unità astronomica della distanza solare, introdotta da Keplero, divenne d'assai troppo corta, giacchè centinaia di migliaia di essa misurano soltanto le più brevi distanze delle stelle fisse. S'introdusse l'*anno di luce*, che è l'immane cammino, che la luce, che pur vola 300.000 km. in un minuto secondo, percorre mentre la Terra gira una volta intorno al Sole. Si pensa che 1000 e più di queste unità ci separino dai confini della Via Lattea; ma neppure il più ardito immaginare osa pronunziarsi sulle distanze che ci separano dalle altre Vie Lattee, che noi vediamo tralucere sulla soglia dell'infinito, sotto forma di ammassi stellari e di nebulose, quantunque non sia ancora per nulla stabilito, che quegli ammassi stellari costituiscano realmente di tali sistemi indipendenti, esterni all'anello della nostra Via Lattea.

Di fronte a questa estensione, inaudita affatto, delle nostre vedute sull'Universo, era prevedibile, che alcuni pensatori arditi osassero spingersi oltre questi estremi limiti della conoscenza spirituale, ed esprimer delle idee intorno all'intiero àmbito, veramente infinito dell'Universo, ed ai rapporti di quell'infinità, alla regione finita che ci è nota. Si volle tener dietro alla catena del divenire nello spazio e nel tempo sino all'infinito e con considerazioni filosofiche, e coi penetranti artifizi dell'analisi matematica. Nè desti meraviglia che il debole e limitato spirito umano, si sia in così fatti temerari tentativi avviluppato in contraddizioni irresolubili. Poichè non possiamo concepire che lo spazio ed il tempo possano in qualunque direzione avere limiti assoluti, così si presenta la questione, se in questo spazio veramente infinito, esistano da tutta l'eternità mondi in numero infinito. E così si pensò, come se si possedesse delle prove attendibili per la decisione di questa ardita questione. Infatti, se vi sono per il Cielo infiniti Soli, fino a distanze così grandi, da essere per noi praticamente infinite, allora anche la forza attraente, che da essi s'irradia per lo spazio, dovrebbe essere infinitamente grande. A dire il vero si potrebbe pensare che la distribuzione della massa intorno a noi sia uniforme, e che le forze d'attrazione infinitamente grandi, che agiscono da tutte le parti con uguale intensità, si annullino perciò mutuamente. Ma allora in tutti i corpi dovrebbe manifestarsi una tendenza, a dilatarsi, per conformarsi a quello sforzo in tutte le direzioni. Ora poichè quest'azione si fa sentire da tutti i tempi, non si troverebbe più presentemente un corpo solido, il che è contraddetto visibilmente dalla realtà delle cose.

Qui dobbiamo dichiarare esplicitamente che noi non abbiamo alcuna pretesa all'assoluta giustezza di queste deduzioni, giacchè noi vedremo presto con altri esempi, che applicando il concetto formato dall'uomo dell'infinito reale, si può giungere a conclusioni direttamente opposte a queste. Zöllner si trovò nello stesso dilemma. Egli disse: il numero delle masse nell'Universo non può essere che finito ovvero infinito. Se esso è infinito, allora per la loro presenza deve gravitare su tutte le parti del creato una pressione infinitamente grande, poichè ogni materia nello spazio vuoto emette dei vapori, questi dovrebbero perciò costituire una grande atmosfera. Ma questa pressione non esiste, quindi la materia nello spazio è finita. Ma se ciò è, quella stessa tendenza della materia alla dilatazione, che agisce da tutto il tempo trascorso fino ad oggi, deve avere prodotto un allontanamento infinito di ogni atomo di questa materia stessa da ogni altro,

cioè la materia dovrebbe avere una distribuzione infinitamente rada. Ora poichè neppure ciò si verifica, così le ultime premesse od assiomi, che ponemmo a base di queste deduzioni, non possono essere giuste. Queste sono l'infinità del tempo e dello spazio, e la proprietà di quest'ultimo di possedere *tre dimensioni*. Intorno ai due primi assiomi, non si può assolutamente cavillare; ma la questione, se lo spazio non abbia realmente più di tre dimensioni, è stata seriamente discussa da grandi matematici come Gauss, Riemann ed altri. Nello spazio a tre dimensioni, detto spazio euclideo, la linea più breve congiungente due punti è quella retta. Quindi due particelle di un corpo, che tendono a separarsi per la via più rapida, si muovono lungo una linea retta, e proseguendo lungo la medesima, anche per tutta l'eternità non torneranno mai più ad avvicinarsi. In uno spazio a quattro dimensioni, che si può immaginare, come molte altre cose, che non esistono, per contro, si può dimostrare, che la più breve linea congiungente due punti è la parte di un cerchio di diametro infinito. Due punti che si muovono lungo esso, possono dopo un tempo infinito incontrarsi di nuovo. Quindi senza altre supposizioni fisiche si possono escogitare delle evoluzioni della materia, nella quale quest'ultima alternativamente si dilata e si condensa. Zöllner credeva a questa ultima conseguenza della serie dei suoi ragionamenti, cioè alla quarta dimensione.

È chiaro che con queste ed altre simili deduzioni poste a base del ragionamento si può soltanto provare che, coll'introduzione del concetto di una infinità compiuta, si può dimostrare tutto e nulla. Wilhelm Wundt ha stabilito molto bene la differenza fra un'infinità compiuta ed un'infinità che diviene; solo di quest'ultima è lecito il pensare a noi creature finite; cioè il pensare ad innumerevoli termini finiti di una serie infinitamente lunga, ad un complesso finito di avvenimenti e di effetti, la cui prosecuzione interminata noi supponiamo, e possiamo anche parzialmente considerare nelle nostre deduzioni. Ci è lecito sommare differenziali infinitamente piccoli per formare integrali di grandezza finita. Stando ad argomenti astronomici, noi possiamo anche, non volendo impigliarci in contraddizioni irresolvibili, ammettere soltanto, che in porzioni limitate dell'Universo, si verificano soltanto azioni limitate di natura tali quali noi le conosciamo. Frattanto poichè vediamo, che nell'ammasso stellare della Via Lattea al quale noi apparteniamo, le stelle sono disseminate così rade che l'effetto dell'attrazione della massa di un Sole sopra un altro, quasi svanisce, così anche i sistemi planetari possono per un lasso di tempo limitato benchè lunghissimo, venire riguardati come affatto indipendenti, esistenti per così dire, isolatamente nell'Universo; dobbiamo quindi conchiudere da ciò che anche le azioni attrattive di tutti gli altri corpi celesti non ancora scoperti, possono essere ritenute come non esistenti per noi, e che quindi la somma di tutti questi effetti, non può mai nè in alcun luogo divenire infinita.

Certo non possiamo non avere qualche dubbio intorno all'assoluta esattezza e perfezione delle formole che esprimono l'azione irradiante degli astri, luce e gravitazione. L'ammettere un'azione, che non comporti correzioni di una legge determinata con matematica precisione, nel complicato congegno del mondo realmente pieno di materia, è, secondo noi, altrettanto impossibile ed illogico, quanto quelle operazioni coll'infinità completa, per quanto esse possano soddisfare alle

forme esterne della logica. L'assoluto è un infinito, come qualunque altro, e noi non possiamo immaginarlo applicato alla pratica.

Rispetto alla luce furono fatte delle considerazioni che rendono ciò manifesto. Olbers, come già si disse, era giunto alla conclusione, che se il numero dei corpi celesti fosse infinitamente grande, la volta celeste dovrebbe risplendere ovunque come il Sole, giacchè da ogni parte dell'Universo, dovrebbe giungere a noi un'onda di luce; l'intensità dell'azione luminosa non è diminuita di per sè dalla grandezza della distanza della sorgente luminosa, a noi giungono soltanto tanto meno onde luminose, quanto più piccolo ci appare il corpo a cagione della sua distanza. Ora poichè la volta celeste, non splende per nulla quanto il Sole, così ciò non fu per Olbers (Cheseaux astronomo di Losanna, aveva già d'altronde prima di Olbers espresso lo stesso concetto, senza che vi si ponesse mente) in modo alcuno una dimostrazione di ciò che o il numero delle stelle risplendenti esistenti nell'Universo è finito, oppure che la luce incontra nel suo cammino una resistenza, che cioè esista una specie di aria celeste che assorba la luce a quella guisa che fa la nostra atmosfera. Ma l'ultima supposizione, stando al principio di Mayer della conservazione della forza, conduce a nuove contraddizioni. L'energia infinitamente grande del movimento etereo, che va perduta sotto forma di luce, deve rendersi palese sotto forma di una qualsiasi altra forza infinitamente grande, e noi possiamo rappresentarcene soltanto la trasformazione in calore. Lo spazio celeste, poichè si è da tempo infinito che la sua luce infinita si sarebbe venuta convertendo in calore, avrebbe dovuto divenire infinitamente caldo, il che non è. Sembrò quindi che non rimanesse più altra scappatoia che quella di ritenere come finito il numero dei mondi lucenti. Ma di recente Seeliger ha dimostrato che tutta la serie dei ragionamenti non regge. Infatti se accanto ad un numero quanto si vuole grande, od anche crescente fino a divenire infinito di mondi risplendenti, ne esistono anche di quelli oscuri, il cui numero anche rispetto ad una infinità di lucenti, possa riguardarsi come finito, allora questi mondi oscuri debbono occultare una parte dei mondi lucenti posti dietro ad essi, e quindi per noi estinguerne la luce. Un solo corpo oscuro posto a distanza finita, può quindi occultare una quantità infinita di punti luminosi situati all'infinito. Quello che fin'ora indicammo col nome di *estinzione della luce stellare*, è pertanto probabilmente dovuto in parte all'assorbimento dell'etere cosmico, e per l'altra parte per contro dall'occultazione prospettica cagionata da corpi celesti oscuri, sull'esistenza dei quali, come masse nello spazio cosmico, non è lecito dubitare. Ad ogni modo queste considerazioni nulla ci dicono intorno all'infinita moltitudine dei mondi.

Non diversamente dalla luce, che in questo o quel modo è nel suo cammino attraverso allo spazio infinito trattenuta in qualche punto, e come tale distrutta, deve avvenire per l'azione irradiante della gravitazione. Si è speculato molto intorno alla validità incondizionata della semplice legge di Newton $m : r^2$ alle piccolissime, come alle grandissime distanze. Anche lasciando in ciò completamente da parte l'infinito, questa formola non si può chiarire neppure con un più attento esame, quando la si faccia servire senza termine di correzione ad una spiegazione più generale dei fenomeni. La formola presuppone innanzi tutto che la gravitazione sia una forza irradiante, al pari della luce e del calore. Se ciò è realmente, e se a quest'azione non si oppone resistenza alcuna, allora la legge relativa è

una necessità naturale, che deve valere in modo assoluto. Un'azione costante che s'irradia da un punto con eguale intensità in tutte le direzioni, deve sempre produrre la stessa somma di effetti, sopra tutte le superficie sferiche che circondano questo centro ad ogni possibile distanza, quando per opera di altri agenti, nulla vi si aggiunga e nulla ne venga sottratto. Ora poichè le superficie di sfere concentriche stanno fra loro come i quadrati dei loro raggi, così il denominatore della formola di Newton è spiegato; il numeratore che contiene la massa esprime inoltre, che da ogni atomo disposto attorno al centro, emana una eguale azione. Pertanto la formola di Newton è in tutte le circostanze giusta e non richiede correzione, quando siano soddisfatte le seguenti condizioni: 1° La gravitazione irradia da un centro corrispondente, egualmente intensa in ogni direzione; 2° essa non incontra alcuna resistenza nell'Universo; 3° in ogni atomo di ciascun corpo è insita una forza di gravitazione invariabile ed in tutti eguale. Tutte e tre queste supposizioni attendono oggi ancora la loro dimostrazione irrefutabile. Finchè ciò non sia fatto, noi dobbiamo star contenti a computare le probabilità militanti in pro di quelle supposizioni.

Prima viene l'assioma dell'azione irradiante dell'attrazione universale. Questo si collega strettamente col terzo, che vuole quella forza insita in tutti i corpi. Newton, lo scopritore dell'azione universale della gravitazione, si esprime, come segue, intorno a ciò: " Che la gravitazione sia una proprietà essenziale e naturale inerente alla materia, così che un corpo possa agire sopra un altro corpo, a distanza attraverso allo spazio completamente vuoto senza l'intervento di alcunchè, a mezzo del quale la sua forza ed attività possano essere propagate, è per me un'assurdità così grande che io credo che nessuno che abbia una tal quale attitudine a riflettere intorno ad argomenti filosofici, potrà mai ammettere „. Newton ha con queste parole enunciato chiaramente quanto è soltanto divenuto verità corrente per ogni fisico dopo Faraday, Roberto Mayer, Helmoltz e Maxwell, che cioè ogni forza per agire da un corpo sopra un altro esige un trasmettitore. Attraverso allo spazio assolutamente vuoto non può darsi irradiazione di sorta. Ogni azione deve essere trasmessa da atomo ad atomo. Per le altre azioni chiamate irradianti, questo fatto fu dimostrato a sufficienza nella teoria della luce, del calore, e finalmente da Herz e dai suoi seguaci anche per l'elettricità. Noi sappiamo, ad esempio, che da una sorgente luminosa non emanano, come si credeva coll'antica teoria dell'emanazione delle correnti di atomi colla velocità della luce, ma che sono soltanto le catene di onde, che prodotte dagli atomi rilucenti, si propagano con questa velocità, mentre il mezzo medesimo, nel quale le onde si generano, può rimanere in riposo. E per ultimo si è spiegato anche fisiologicamente come queste onde luminose agiscano a loro volta sulle maglie visive della nostra retina, per produrre l'impressione della luce.

Ma tali movimenti eterei non posseggono per nulla la capacità di produrre effetti simili a quelli della forza d'attrazione; si vede subito facilmente che il movimento regolare di va e vieni di un corpo, non può coi suoi urti muovere durevolmente un altro corpo dalla sua posizione. Un oggetto galleggiante sulla superficie mobile del mare va in su e in giù in balia dell'onda che lo scuote, ma non vien fatto procedere avanti da essa. Ciò lo potrebbero soltanto le onde in una corrente. Ma se dal corpo attraente si dipartisse una corrente di atomi,

allora verrebbe spontanea la domanda, donde provengono questi atomi, giacchè il corpo pure manifestando la forza d'attrazione non diviene più piccolo, e poi a quel modo non si può spiegare che un effetto di urto. Se per ultimo la corrente di atomi è diretta contro il corpo attraente, allora invece si presenta la domanda, dove rimangono questi atomi nel corpo, e poi d'onde attinge il corpo questa forza attraente, poichè questa non può essere inerentemente contenuta in esso; esso non può costringere a distanza questi atomi ad accostarglisi e così produrre la corrente. Noi intendiamo dire che non è concepibile che gli atomi eterei, che si trovano in riposo in uno spazio, si lancino senz'altro verso un corpo, non appena questo viene bruscamente introdotto in quello spazio. Se ciò avvenisse, noi avremmo fatto servire la forza che vogliamo spiegare alla sua propria spiegazione; quindi questa corrente di atomi non ci occorre più. Descartes ed altri tentarono ai loro tempi di applicare i movimenti vorticosi alla spiegazione dell'attrazione; si verrebbe così ad ammettere, che in un corpo dotato di massa gli atomi eseguiscono movimenti di tal fatta, e che altri atomi, quelli dell'etere, penetranti dall'esterno negli interstizi delle molecole, vengono posti in movimento vorticoso, e che questo va poi man mano propagandosi. Meccanicamente ciò sarebbe ben possibile, e da ciò pure si potrebbero facilmente ricavare dei fenomeni simili a quelli dei pianeti circolanti. Ma pur astraendo dal fatto che la teoria della gravitazione universale, quale essa risulta dalle osservazioni degli astri, non si concilia più con quest'idea per la spiegazione della gravitazione stessa, nulla si acquisterebbe con quella, giacchè rimarrebbe sempre inspiegata la produzione permanente del vortice nella massa. L'ammanco è soltanto registrato sotto un'altra partita, non eliminato, e l'inspiegabile ascritto all'inspiegato.

Nuovi investigatori che si sono occupati della soluzione del mistero della gravitazione, si appigliarono alle più recenti conquiste della fisica, e segnatamente alla teoria cinetica dei gas. Si può dimostrare che gli atomi di un gas camminano rettilineamente con grande velocità, e con ciò generano i fenomeni di diffusione e le altre proprietà dei gas. La velocità di questo movimento rettilineo di propagazione può, probabilmente, essere ancora maggiore di quella della propagazione della luce. Un ammasso di atomi gasosi, abbandonati a loro stessi in uno spazio vuoto, cominciano quindi subito ad allontanarsi l'uno dall'altro in ogni direzione, ed in ciò fare trovano solo parziale impedimento nei loro vicini, contro i quali urtano, rimbalzano, e quindi con impeto sempre maggiore, quanto meno densa è la massa gasosa, vanno oscillando in qua ed in là con quella grande velocità. Ora poichè nello spazio cosmico esistono delle masse, dalle quali possono emanare dei gas, così si può ammettere che degli atomi di quei gas divengano per ultimo completamente liberi nello spazio infinito, in guisa da muovervisi uniformemente e rettilineamente. Noi vedremo, d'altronde ben presto, che questa propagazione rettilinea e di velocità uniforme è l'unica che la materia deve sino dai primi principi, avere innata in sè, quando noi vogliamo spiegare le proprietà astronomiche e fisiche di essa, che abbiamo innanzi agli occhi. Noi dobbiamo quindi ritenere come dimostrato che lo spazio cosmico è popolato da un esercito di atomi, che finchè non s'urtano in alcun ostacolo, si muovono in tutte le direzioni con moto uniforme e rettilineo. Ora suppongasi che un agglomerato più denso di massa, venga esposto a questa pioggia di atomi. La fisica ha dimostrato con

certezza che per quanto una massa possa essere densa, fra le sue molecole rimangono degli spazi liberi, che neppure in confronto della grossezza delle molecole sono più piccoli degli interstizi che separano i centri di queste ultime l'una dall'altra. Se si possedesse un microscopio, che ci permettesse di vedere individualmente le molecole, la testa di una spilla illuminata dal Sole acquisterebbe una grande rassomiglianza con quei lontani ammassi stellari, nei quali i Soli, per noi, sono apparentemente pigiati, come ivi le molecole. Gli atomi dell'etere potrebbero in massima parte passare liberamente attraverso a questi interstizi, e procedere non perturbati dall'altra parte del corpo cosmico che si considera.

Ma un'altra parte di quegli atomi deve anche di necessità urtare contro le molecole del corpo cosmico che si considera, tendendo a trascinarle seco nella loro corsa. Ma le molecole sono molto più grosse degli atomi dell'etere; esse oppongono una resistenza al movimento e vengono anche molto più facilmente trattenute da altre molecole della massa e costrette ad oscillare in qua ed in là. Ora poichè da tutte le parti vengono esercitate sulla massa eguali azioni, le quali prima ne sospingono le molecole verso il centro, anche se esse poi oscillando le ripercuotono, così con ciò si genera una graduale condensazione di quella massa che noi veramente constatiamo ovunque. Ogni corpo che non si trova ancora nello stadio della sua massima densità, si condensa sotto l'influenza della sua propria gravità, e produce perciò in se stesso calore. Noi abbiamo ora veduto come ciò avvenga anchè con una materia d'altronde senza proprietà, che quindi in sè non possiede la forza di gravitazione o della produzione del calore, sotto l'influenza degli atomi eterei ovunque pervadenti ed irruenti, giacchè i fenomeni del calore si possono, come insegna la fisica, spiegare con oscillazioni delle molecole di un corpo che irradia il calore. Se le vibrazioni degli atomi si elevano fino ad un certo grado, il calore si trasforma in luce.

Ma come si può spiegare l'azione calorifica e luminosa irradiante di un tal corpo? A questo fine ci occorre soltanto ammettere che gli atomi eterei succedentisi cozzano contro le molecole vibranti e vengono da queste risospinti indietro; se ciò avviene in un istante in cui la molecola procede verso il centro, allora l'azione di rimbalzo dell'atomo proveniente dal di fuori sarà minore che nell'istante successivo, nel quale la molecola si dirige verso l'esterno. L'atomo quindi riceve sul suo cammino qualche cosa dalla forza viva della molecola, e lo continua più rapidamente del suo immediato predecessore. Quindi nella corrente di atomi che vengono fatti rimbalzare dal corpo cosmico che si considera, avvengono delle condensazioni e delle espansioni che seguono la stessa legge delle oscillazioni delle molecole di esso corpo. Se ora questa corrente incontra un osservatore, questi avvertirà in quella corrente le onde longitudinali della luce ovvero del calore, quando egli non ponga mente alla loro propagazione. Noi pensiamo che la teoria della luce non escluda la possibilità che l'etere, che è il trasmettitore delle onde eteree, si diparta dal corpo luminoso colla velocità media della luce, mentre noi per spiegare i fenomeni luminosi stessi, abbisognamo soltanto delle differenze intermittenti colle quali gli atomi eterei producono le condensazioni e le rarefazioni progredienti. Noi speriamo che questo modo di pensare non possa venire riguardato come un ritorno alla teoria dell'emanazione della luce.

La corrente degli atomi eterei che rimbalzano circonda da tutte le parti il corpo celeste che consideriamo. Ora poichè frattanto questi atomi eterei hanno prodotto nel corpo celeste un lavoro, mentre tendevano ad addensarlo, e cagionavano le sue vibrazioni luminose e termiche, così la loro velocità ne riusciva diminuita. Immaginiamo ora un secondo corpo celeste accanto al primo; allora gli urti degli atomi eterei, che esso riceve da ogni parte dello spazio cosmico circostante, non possono, dalla parte verso il primo corpo, essere più così numerosi come quelli provenienti da tutte le altre direzioni, poichè gli atomi eterei emananti dal primo corpo celeste, ne ebbero la loro velocità diminuita. Ma ciò non indica altro se non che gli urti degli atomi comunicati al corpo dalla parte opposta hanno una preponderanza, e devono spingere il secondo corpo verso il primo. A questo modo si può spiegare qualitativamente la forza attraente del primo corpo. Ora si può domandare, se da questa idea si possono anche dedurre la formola di Newton ed i movimenti dei corpi celesti.

Ora poichè gli atomi eterei fatti rimbalzare dal primo corpo, debbono naturalmente diffondersi radialmente nello spazio, ed essi soltanto sono quelli che in causa della loro velocità inferiore a quella degli atomi eterei che non sono risospinti indietro, producono i fenomeni della gravitazione secondo l'opinione esposta, così una parte della legge di Newton, cioè la diminuzione col quadrato della distanza, s'accorda colla nostra ipotesi; giacchè fu dimostrato, in modo generale, che ogni azione irradiante deve seguire quella legge. Si presenta per contro molto più complicata la questione di sapere, se quell'ultima possa adempire anche all'altra condizione della legge di Newton, secondo la quale la gravitazione agisce proporzionalmente alla massa. È facile lo scorgere, che un corpo deve far rimbalzare un numero di atomi eterei tanto più grande, quanto più molecole esso contiene, contro le quali gli atomi possono venire a dar di cozzo. Per contro qui si fa innanzi un dilemma, circa la così detta " trasparenza della materia per la gravitazione „. Se ogni molecola di un corpo dotato di massa, per quanto essa sia incastrata profondamente nell'interno di esso, deve poter respingere indietro un atomo, gli interstizi fra le molecole debbono essere così larghi, che nessuna molecola possa intercettare il cammino verso un'altra immersa a maggiore profondità, ma così non esiste ragione alcuna, perchè questa debba venire colpita. Qui sta appunto una contradizione coi fatti che non si può rimuovere, quando si ammetta che la legge di Newton sussiste senza correzione. Ma qualunque sia la supposizione che si fa sulla causa della gravitazione, premesso che questa supposizione richiede una trasmissione da atomo ad atomo, si giungerà pur sempre alla necessità, che non tutte le molecole di un ammasso di materia possono esercitare l'azione di attrarre. Le circostanze debbono necessariamente conformarsi come rispetto ai raggi di luce, che ci arrivano dalle stelle dell'Universo. Come in tal caso una stella intercetta i raggi dell'altra, di guisa che essi non possono proseguire il loro cammino, così anche una parte delle molecole di una massa qualunque debbono rendere nulla l'azione attraente delle altre. Ci sembra quindi affatto inconciliabile coi principii delle nostre vedute moderne sulla natura, che la gravità possa agire realmente in modo esattamente proporzionale alla massa. Un giorno si dovrà aggiungere alla formola di Newton, un altro termine, con segno negativo, molto piccolo rispetto al primo. Per conservare bene il paragone colla luce, la gravitazione deve subire

un assorbimento tanto nello spazio cosmico, come nel corpo stesso che irradia l'attrazione, e con ciò scompaiono contemporaneamente anche tutte le contraddizioni menzionate al principio di questa trattazione, che lasciavano sussistere una somma infinitamente grande degli effetti della gravitazione concomitante con l'esistenza di un numero infinitamente grande di mondi. Come dopo percorso un certo cammino, si estingue in ultimo ogni effetto della luce, così anche l'azione attraente di corpi lontanissimi cessa completamente.

Giunti così al punto di modificare la legge della proporzionalità alla massa, dobbiamo naturalmente prima chiederci, se i fatti forniti dall'osservazione non siano a ciò contrari. Già vedemmo, trattando della intima essenza del principio di Newton e delle perturbazioni, ecc., quanto sia difficile la determinazione astronomica delle masse, anche accettando la legge di Newton come perfettamente esatta. Ma determinazioni dirette, indipendenti da questa legge, non sono generalmente possibili, ad eccezione di quella per la nostra Terra; i corpi celesti non possono venir pesati che colla bilancia costruita dal genio di Newton. Neppure la determinazione della massa terrestre, che è possibile soltanto con metodi fisici, può venire istituita con quella precisione, che sarebbe necessaria, per riconoscere una variabilità della gravità in un altro rapporto che non sia quello dell'aumento della massa. Per queste ricerche si tratterebbe di trovare, per la gravitazione, delle leggi analoghe, a quelle che si rintracciarono in altre azioni irradianti, come ad esempio quella della luce in un mezzo resistente. Però per la gravitazione difettano i fenomeni, che sono prodotti dal moto ondulatorio dell'etere. Ad ogni modo sarebbe pur sempre un progresso essenziale, se si riuscisse a provare, l'imperfetta „ trasparenza „ della materia per i raggi della gravitazione, donde naturalmente seguirebbe la necessità di riflessioni. Finora gli esperimenti a ciò relativi furono vani, del che però non bisogna meravigliarsi, quando si pensi sotto quali condizioni sfavorevoli debbano venire istituite queste indagini, nelle vicinanze immediate del globo terrestre che per noi irradia un'enorme azione attraente. Le circostanze non sono diverse da quelle che sarebbero, se si fosse costretti ad istituire le più delicate misure d'intensità luminosa nel più vivo chiarore del Sole. Ora poichè i risultati della meccanica celeste, rendono non dubbia, una molto notevole " trasparenza „ di tutta la materia per i raggi della gravitazione, così non vi è che poca prospettiva, di poter meglio studiare questa questione con metodi fisici, poichè non siamo in caso di produrre un'ombra rispetto alla gravitazione, nella quale istituire i nostri esperimenti.

Per contro i movimenti dei corpi celesti, forniscono per queste indagini, un esperimento su scala grandiosa. Se noi continueremo a tener dietro ai movimenti dei corpi celesti sempre più esattamente, nell'ipotesi della validità della legge di Newton, e quindi se constateremo in modo certo delle deviazioni, come quella che già si sa esistere nel movimento del perielio di Mercurio, allora, noi potremo dedurre dalle osservazioni il termine sospettato di correzione per la formola di Newton. Già molte volte si è tentato, ad esempio da Laplace, Green, Neumann e Seeliger, di sviluppare nuove formole, che pur non essendo in contradizione coi fenomeni celesti, valgono ad eliminare le assurdità sopra accennate, alle quali conduce l'applicazione rigorosa della formola di Newton. Si è anche provato a paragonare numericamente queste formole colle deviazioni che pur rimangono dei

movimenti del perielio, al che diede occasione, nei giorni nostri, la comprensiva indagine di Newcomb sopra il nostro sistema planetario. Ma sarebbe ancora molto prematuro il dedurre ora dalle concordanze constatate qualche conclusione.

Se noi non vogliamo fare la supposizione contraddetta dai nostri odierni concetti intorno alla natura, che la gravitazione si propaghi attraverso allo spazio con velocità infinita, ma ne piaccia riguardare la sua velocità di propagazione come paragonabile a quella della luce, allora nei fenomeni della gravitazione deve manifestarsi qualche cosa di analogo all'aberrazione della luce. Ciò fu primieramente accennato da Guglielmo Weber. Infatti se gli urti degli atomi avvengono sopra un corpo in movimento, la loro forza deve venire alterata in una proporzione, che corrisponde alla nota grandezza delle due azioni. L'alterazione sarà quindi tanto più grande, quanto più energicamente il corpo si muoverà; quindi anche qui sarebbe ancora Mercurio che potrebbe rivelare per il primo una tale influenza. Frattanto si può provare che se la velocità di propagazione della gravitazione è uguale a quella della luce, nello stato attuale della nostra tecnica d'osservazione è, per gli altri pianeti, affatto insignificante. Poichè d'altronde nulla, assolutamente nulla, fu dimostrato per via sperimentale sulla velocità della gravitazione, così anche intorno a ciò, le più interessanti deduzioni ci potranno essere fornite dalla ulteriore prosecuzione delle indagini intorno al movimento dei pianeti istituite con tutto il rigore e l'esattezza (*a*).

14. — Istoria dell'evoluzione dei mondi.

In quanto precede, noi abbiamo tentato di delineare un'immagine chiara degli effetti e della propagazione della forza universale, che produce i movimenti delle miriadi di corpi celesti nello spazio illimitato, e quei moti più intimi a mezzo dei quali contraendosi man mano vanno irradiando luce e calore, regolando così, senza dubbio, il processo d'evoluzione degli astri. Ci rimane ora ancora a chiarire quell'altra specie di moto, in virtù della quale i corpi roteanti fanno equilibrio alla forza di gravitazione, vogliamo dire la forza centrifuga. Questa però porta, senza averne il diritto, il nome di una forza, giacchè basta un urto solo per produrre sotto l'effetto della gravitazione, le sezioni coniche delle quali ci siamo già occupati. Il movimento tangenziale durerebbe per tutta l'eternità, se la forza di gravitazione cessasse d'agire; quindi se si potesse far scomparire istantaneamente il Sole, un pianeta camminerebbe per tutta l'eternità in linea retta, se però in nessun punto dell'Universo non venisse a subire ancora l'influenza di

(*a*) [Ci duole che l'autore abbia passato sotto silenzio le idee dell'illustre nostro Schiaparelli intorno alla trasparenza dello spazio cosmico alla luce. Esse sono di capitale importanza e si trovano esposte in una classica memoria intitolata: *Sulla distribuzione apparente delle stelle visibili ad occhio nudo*. Se ne troverà un riassunto assieme ad un'esposizione dello stato attuale della questione nel capitolo " Lo spazio celeste " del libro *In Cielo* di Ottavio Zanotti Bianco. (O. Z. B.)].

un'altra forza qualunque. Quindi volendo comprendere i movimenti della materia nell'Universo, si tratta ancora di scoprire la causa dell'urto unico, che deve essere avvenuto nei più remoti tempi della preistoria dell'evoluzione del sistema del mondo.

Ma come possiamo noi immaginare l'istoria dell'evoluzione dei mondi? Intorno a questo arduo problema vennero proposte innumerevoli ipotesi, per lo più da persone che difettavano della conoscenza generale dei fatti che si volevano spiegare e spesso anche di quella lucidità nella serie dei pensamenti, che, più che in qualsiasi altro lavoro dello spirito, sono necessarie a chi voglia plasmare ipotesi, per non cadere nei più grossolani errori, non riconosciuti però come tali dai loro creatori. Non vi è nulla di più facile che l'escogitare cervellotticamente una causa pur che sia di un fenomeno osservato, che lo spieghi, e quindi il trovare sempre nuove cause per i fenomeni che si vengono successivamente scoprendo. Da una buona ipotesi invece si esige, che col minor numero possibile di premesse, metta fra loro d'accordo, spiegandoli, possibilmente tutti i fenomeni dell'ambito di fatti che si considera. Da chi avanza un'ipotesi pertanto, si richiede che possegga completamente tutti i fatti dei quali deve tener conto.

Pensatori, quali Kant e Laplace che appartengono a tutti i tempi non rinscirono a formulare delle ipotesi sulla formazione del mondo, che possano sussistere in tutte le loro parti di fronte alle cognizioni della nostra moderna astronomia. Quindi se noi, malgrado ciò, verremo in quanto segue aggiungendo una nuova ipotesi a quelle che già si hanno, ciò si è non colla pretesa di presentare qualche cosa di meglio di quello che si possiede, ma soltanto coll'idea che il concetto, fondato sulla semplice base atomistica, possa forse offrire un'occasione a ricerche più penetranti.

Per soddisfare alla condizione di fare il minor numero possibile di premesse, noi non ammetteremo altro che quello che realmente ed incontestabilmente vediamo davanti agli occhi, che cioè l'Universo è percorso da un gran numero di corpi, d'ogni dimensione e con tutte le velocità, e con ciò escluderemo, per ragioni note, che queste dimensioni e velocità possano mai divenire infinite. Poichè il modo di agire delle varie forze che la fisica e l'astronomia attribuiscono alla materia, non è stabilito ben chiaramente, così da principio noi non le concederemo il possesso di alcuna forza, a meno che si voglia riguardare il contenuto del volume delle più minute parti di questa materia, cioè dei loro atomi, come una forza. Poichè inoltre, stando alle opinioni accolte fino ad oggi, possiamo ritenere un movimento curvilineo come soltanto generato dall'azione permanente di una forza, così noi escludiamo questa dalle nostre ipotesi non dimostrate. Precisando meglio noi ammetteremo: 1° Vi sono porzioni dello spazio, nelle quali non può penetrare alcun'altra loro eguale, cioè atomi assolutamente rigidi, questi possono avere qualsiasi forma esterna, e perciò, nella loro azione, come dotati di massa si possono complessivamente riguardare come sferici; 2° Questi atomi si muovono nello spazio rettilineamente e con velocità uniforme, e precisamente in media, con una velocità, che è per lo meno eguale a quella della propagazione della luce.

Per fondare sopra questi due soli assiomi la costruzione del mondo e la sua evoluzione, noi partiamo dal fatto che l'occhio evidentemente ci rivela, che gli atomi non sono uniformemente distribuiti per lo spazio cosmico. In alcuni

luoghi esistono delle enormi accumulazioni di massa, fra le quali esistono degli spazi ancora più vasti, che vengono attraversati soltanto dagli atomi eterei liberi; questi producono gli effetti della gravitazione e della luce, che noi abbiamo già considerato più avanti precisamente nella presupposizione di quei due assiomi. Per il nostro problema è indifferente il cominciare il nostro tentativo di spiegazione pinttosto coll'una che coll'altra delle forme di accumulazioni di massa, delle quali noi abbiamo incontrato nell'Universo tante varietà. Giovandoci di questa libertà, noi scegliamo il più semplice stato della materia, che il mondo ne esibisca, una nebulosa di forma affatto irregolare. La sua presenza ne avverte, che nella corrispondente regione dello spazio celeste, gli atomi eterei erranti cominciano a non essere più intieramente liberi; essi si raccolgono qui, e debbono perciò imbattersi in una condizione tale da influenzarsi reciprocamente, in guisa da rimanere l'uno accanto all'altro. Ma questa condizione è la disuguale distribuzione preesistente della materia. Non occorre ripetere come una tale accumulazione di materia, sotto l'influenza degli atomi eterei liberi, in conseguenza della maggior facilità di collisione ivi esistente, delle parti impenetrabili di spazio debba poco per volta andar addensandosi. Questa condensazione della nebulosa composta provvisoriamente di atomi ancora quasi liberi deve intendersi così che i movimenti di oscillazione prodotti dall'urto e dal rimbalzo debbono raggrupparsi intorno al centro della nebulosa in guisa che per esso vada a passare il massimo numero di orbite di atomi; ciò si può dimostrare col calcolo.

A questo punto ne occorre fare provvisoriamente ancora un'altra presupposizione, che però può venir fin d'ora riconosciuta come una necessità teorica, non appena si ponga mente alla natura della gravità, in base ai concetti atomistici qui delineati. Noi dobbiamo cioè ammettere, che gli atomi che, in sul principio, oscillavano soltanto in qua ed in là nella nebulosa, sotto l'influenza delle collisioni che verso il centro si van facendo più e più frequenti, compiono i loro movimenti in orbite ellittiche molto allungate. Se noi ci rappresentiamo la somma degli effetti di tutti gli urti che si verificano, come una resistenza crescente verso il centro della nebulosa, che oppone la sua rimanente materia al movimento di un solo atomo di essa, allora le più piccole irregolarità della distribuzione della massa debbono produrre dei movimenti realmente diversi da quelli oscillanti, e dai quali il corpo ritorna indietro per una via diversa da quella lungo la quale è venuto. La presenza stessa dell'agglomerazione di massa, dimostra già di per sè che quei movimenti per la massima parte degli atomi appartenenti al complesso di massa, non sono tali da lanciarsi nell'illimitato. La velocità tangenziale che rimaneva ancora a spiegarsi nei fenomeni presentati dai movimenti dei corpi celesti, viene, almeno agli atomi del corpo che si considera, comunicata da urti laterali, senza del che quegli atomi andrebbero semplicemente oscillando attorno al centro. Questo urto laterale di una sola volta, conferisce alle singole particelle della materia delle orbite coniche di tutte le forme immaginabili, fra le quali però debbono preponderare quelle ellittiche, poichè la nebulosa continua sussistere. Noi perciò immaginiamo che nella nebulosa, gli atomi ancora abbastanza liberi descrivano delle orbite molto ampie, paragonabili alle orbite delle comete nel nostro sistema solare. Può a tutta prima, come ben s'intende, sembrare, che i movimenti, la natura dei quali noi osserviamo nei grandi corpi celesti, debbano essere ritrovati anche nelle minime

agglomerazioni di massa fino agli atomi, finchè questi possono per il rimanente muoversi liberamente. Quindi il nostro còmpito diviene ora quello di portare nella confusione di movimenti conici, coi quali vanno frammischiandosi le infime particelle di una nebulosa dell'estensione di un sistema di mondi, quell'ordine, che constatiamo ad ogni istante nelle varie parti dello spazio celeste.

Già vedemmo come cominci e continui il lavoro di condensazione di una nebulosa abbandonata a se stessa. È anche facile il dimostrare che in quel processo la nebulosa deve poco per volta assumere la forma sferica. Le orbite delle particelle di massa che si spingono enormemente lontano dal centro debbono avere eccentricità grandi, cioè nel loro perielio, se è lecito l'adoperare fin d'ora una tale espressione, si accostano molto alla parte più densa della nebulosa, prima che il loro movimento incontri la massima resistenza. Le perturbazioni che ivi si vanno accumulando, diminuiscono costantemente l'eccentricità, e solo quando da ellittiche le orbite si sono fatte ad un dipresso circolari, non avvengono più perturbazioni. Ma se tutte le orbite sono circolari e tutte le posizioni di esse egualmente probabili, allora ne risulta una forma sferica della nebulosa.

Originalmente anche tutte le direzioni di movimento, così dirette come retrograde, debbono essere egualmente probabili; la nebulosa non è animata da alcuna rotazione. Ciò nullameno, la sua condensazione progredisce costantemente, giacchè in questa supposizione, accanto ad una particella di massa che circola ad una determinata distanza dal centro con moto diretto, ne esiste anche una con moto retrogrado, colla quale può aver facile opportunità di urtarsi, col che le energie di moto dei corpi che collidono viene distrutta, ed entrambi riuniti debbono cadere verso il centro. Se esistono precisamente tante particelle dirette quante retrograde, supposizione che contiene alcunchè di assoluto, e quindi certamente non è realizzabile nel mondo, allora nulla può ulteriormente succedere del corpo, quando esso non venga esposto a qualche altra influenza esterna. Tutti i corpi diretti verrebbero poco per volta ad urtarsi con tutti quelli retrogradi ed a cadere verso il centro, finchè il tutto si fosse condensato ad una densità massima. In realtà poi la condizione della ripartizione esatta delle orbite dirette e di quelle retrograde non è mai soddisfatta rigorosamente; ciò però non significa altro, se non che il corpo celeste, del quale consideriamo l'evoluzione, deve possedere fin da prima dell'istante che consideriamo una rotazione non tanto lenta, che si rivela con una preponderanza, ad esempio, delle orbite dirette su quelle retrograde.

Supponiamo che ad una data distanza dal centro si muovano in senso diretto sette corpi colla velocità loro assegnata dalla legge di Newton, e cinque pur colla stessa velocità, ma in senso retrogrado. Quindi se un corpo della schiera che consideriamo, deve venire spostato, esso deve in $5+7=12$ unità di tempo, percorrere $7-5=2$ unità di percorso, cioè possedere in tutto una velocità 2:12, cioè un sesto dell'unità scelta. Ma noi vedemmo che, nel corso del tempo, ogni corpo diretto deve venir ad urtare con un corpo retrogrado ed uniti debbono poi cadere verso il centro; quindi dopo qualche tempo, alla distanza supposta, non circoleranno più che sei corpi diretti e quattro retrogradi. La velocità è ora $(6-4):(6+4)$, ossia eguale ad un quinto; essa è aumentata nel frattempo. Dopo un'ulteriore eliminazione di una coppia il nostro calcolo dà $(5-3):(5+3)$, ossia un quarto. Coll'annullamento dei movimenti di senso opposto della coppia successiva

cessiva si ha un terzo, poi una metà, e finalmente l'unità, quando tutti gli elementi retrogradi siano stati scartati. Da questa semplice considerazione segue quindi soltanto, quanto fu dedotto dalla legge di Newton con complicate considerazioni teoriche, che cioè in un sistema di corpi celesti che circolano attorno ad un centro, col tempo si rendono possibili soltanto movimenti in una sola direzione. I corpi con movimento retrogrado vengono espulsi dal sistema, in causa delle perturbazioni che si vanno accumulando. Un'eccezione è costituita soltanto dai tenui agglomerati di massa separati affatto, che imparammo a conoscere nel nostro sistema quali comete retrograde, e che abbiamo riguardato come gli ultimi avanzi della nebulosa originale, che provenendo da porzioni di essa molto remote, non possono soggiacere che di rado all'attività condensatrice del mondo che si va formando.

Così noi abbiamo assistito alla formazione di una nebulosa caotica di forma sferica, condensata verso il suo centro e denominata nebulosa planetaria, e con essa vedemmo nascere una seconda specie di corpi celesti sparsi sullo spazio celeste. Nell'ipotesi fatta poc'anzi, di una direzione dominante di movimento, la sfera riesce contemporaneamente fornita di un asse di rotazione, dei relativi poli e di un equatore. Pertanto il predominio di una direzione significa geometricamente, che le inclinazioni delle orbite degli elementi di massa si raggruppano attorno ad un determinato piano in guisa, che le inclinazioni piccole rispetto ad esso si presentano più di frequente. Le inclinazioni superiori a 90 gradi appartengono già a corpi retrogradi. Noi sappiamo che le perturbazioni di tali corpi divengono tanto maggiori, quanto più spiccatamente sono retrogradi, cioè quanto maggiore è l'inclinazione delle loro orbite. Ciò si può anche intendere facilmente nel concetto atomistico; gli urti di due elementi di massa distruggeranno tanto maggior copia di energia di movimento, quanto più saranno diverse le direzioni dei corpi che si urtano. Se si eliminano subito i corpi propriamente retrogradi, cioè quelli le cui orbite hanno inclinazioni superiori a 90°, le azioni corrispondenti si continuano pur tuttavia ancora, e quelli che sono vicini ai 90° sono influenzati in maggior grado. Gli urti impiccioliscono le orbite di questi corpi assai più che quelle degli altri. Poichè queste orbite intorno a 90°, conducono i corpi al polo della sfera, così noi vediamo, che questa deve ivi poco per volta venir schiacciandosi. Quindi la sfera diviene prima un'ellissoide, e poi un corpo di forma lenticolare. Così si dispone nella serie del nostro processo di evoluzione del mondo una terza specie di corpi celesti quella delle nebulose ellittiche, e finalmente vengono quelle allungate quali quelle che sono rappresentate nella nostra tavola a pagina 383.

Si può inoltre mostrare, che la nostra nebulosa ellittica deve assumere un movimento vorticoso, anche se essa venga ulteriormente abbandonata a se stessa. Come già abbiamo veduto, la forza d'attrazione subìta da una particella di massa posta nell'interno di un grande agglomerato di massa di forma sferica, è indipendente da quella massa, la cui distanza dal centro è maggiore di quella della particella di massa che si considera. Da ciò segue che dentro un corpo omogeneo, di qualsivoglia costituzione, l'attrazione verso il centro deve costantemente diminuire, e precisamente nel rapporto del raggio, poichè qui la massa diminuisce, al pari del volume, nel rapporto della terza potenza di esso, mentre l'attrazione cresce soltanto colla seconda potenza di esso. Esaminiamo ora la velocità tangenziale, che secondo quanto precede, deve fare equilibrio a quest'attrazione nelle varie distanze

dal centro, e vedremo, che per un corpo di diametro molto grande, che va rimpicciolendosi, essa deve dapprima rallentarsi, e soltanto quando il rapporto del diametro a tutta la massa ha raggiunto un determinato valore deve di nuovo accelerarsi. Le parti più esterne della nebulosa vanno avanti alle più interne, quindi in questo stadio di evoluzione le condizioni del movimento sono precisamente le opposte di quelle dello stato finito di un sistema planetario simile al nostro, nel quale la massa principale si è riunita al centro. Si vede senz'altro facilmente, come da un tale precedere, che si verifica soltanto fino ad una certa profondità, si debbano produrre degli avvolgimenti a spirale della materia, e per ultimo debba staccarsi dalla massa centrale interna un anello. Con ciò vediamo formarsi le nebulose a spirale e ad anello.

Già alloraquando descrivemmo le forme tipiche delle nebulose, abbiamo fatto avvertire che presso molte nebulose a spirale, si trova un'altra nebulosa più piccola, che ha cogli avvolgimenti della prima una connessione che accenna ad un incontro delle due nebulose e ad una lacerazione della materia dell'una per opera dell'altra. Nella realtà un cosifatto urto di due corpi celesti è tanto più da attendersi, quanto più essi sono estesi, cioè quanto più primitivo è lo stadio di evoluzione, nel quale si trovano. Abbiamo avuto cura di evitare di introdurre nelle nostre considerazioni, sia l'infinito, che una qualsiasi condizione assoluta della materia o di tutto l'universo. Abbiamo considerato sempre soltanto una parte della materia cosmica in una qualsiasi regione limitata dello spazio, che veniva di per sè assumendo una forma, ma non ci è però lecito di dimenticare l'influsso che altri corpi celesti possono esercitare su di essa durante la sua evoluzione. A quel modo che noi abbiamo visto tenuto dalle minime particelle di quella materia nell'ordinarsi a mezzo dei costanti mutui urti o dei cozzi cogli atomi eterei penetranti dall'esterno, secondo quelle stesse leggi che governano il raggrupparsi ed i movimenti dei massimi ammassi di materia, così dobbiamo anche riguardare l'incontro di due corpi celesti non solo come possibile, ma come necessario. Noi abbiamo già degli esempi di molti avvenimenti celesti, come segnatamente il brillare di certe stelle nuove, che non possono venire altrimenti spiegati che con tali urti. Ora se una nebulosa penetra in un'altra dall'esterno, il movimento vorticoso che ne risulta, deve essere più vivace che altrove ai confini estremi della nebulosa maggiore. Quindi anche in questo caso abbiamo i movimenti più rapidi alla superficie.

Inoltre il movimento della nebulosa minore penetrante viene influenzato dalla forza d'attrazione della maggiore. È permesso pensare, che la prima appartenesse *ab initio* alla maggiore come una regione particolarmente densa, intorno alla quale la materia s'adunava come attorno ad un secondo centro. In questo caso viene subito impresso un movimento ellittico. Ma anche se questo corpo fosse penetrato dall'esterno, è possibile che il suo movimento originalmente iperbolico sia stato convertito in ellittico dalla mutua resistenza delle due masse gasose. Nei due casi è nato il germe di un primo pianeta.

A tutti i processi, esposti fin qui, non è fissato alcun limite di spazio. Questo procedimento di sviluppo può abbracciare tanto volumi enormi, come ad esempio quello occupato dalla nebulosa d'Orione colle sue spirali circostanti, quanto volumi più piccoli, che o si librano indipendenti nello spazio, oppure appartengono a maggiori nebulose, come se formassero un nucleo speciale, una regione più densa

fin dall'origine. Nell'ultimo caso il corpo minore, percorrerebbe lo stesso corso di sviluppo del maggiore del quale fa parte; esso può venire riguardato come una molecola di quello. Con ciò rimane spiegato, come si riscontrino da una parte nebulose ellittiche, a spirale, anulari, che esaminate ben attentamente si risolvono in singole stelle, e dall'altra come entro alla grande nebulosa a spirale o ad anello, che forma il sistema della nostra Via Lattea, si siano prodotti dai sistemi solari analoghi al nostro, e che finalmente in questo sistema esista un corpo secondario, Saturno, che a sua volta possiede un anello, lungo il quale circolano dei corpi minuti secondo le prescrizioni della legge di Newton, non diversamente dagli atomi nella nebulosa primitiva.

Si può vedere facilmente come per ultimo dai detti anelli si distacchi un corpo separato. I corpi circolanti debbono influenzarsi reciprocamente, perturbandosi, giacchè essi si attraggono anche mutuamente. Se non regna alcuna regolarità assoluta nella grandezza e nelle distanze medie di questi corpi, ivi si farà sentire la selezione; i corpi che camminano l'uno presso dell'altro, andranno sempre più accostandosi, fino a toccarsi in ultimo, ma venendo a contatto non più con urti violenti, poichè entrambi hanno ad un dipresso la stessa velocità e direzione di movimento. Essi evidentemente quindi perdono soltanto poca energia, e continuano a circolare come un corpo ingrossato intorno al centro della massa maggiore, alla quale essi appartengono. I corpi più grossi di quest'anello, sin da principio, attraggono più energicamente ed a sè riuniscono i corpi minori. La selezione progredisce sempre verso corpi più grossi, finchè finalmente il massimo abbia in sè conglobato tutti gli altri, e circoli come corpo planetario attorno al centro del suo sistema.

A seconda della grandezza della nebulosa originale, ciò può avvenire in una epoca nella quale il processo di condensazione delle due masse separate non è ancora progredito sufficientemente da portarle oltre la condizione di nebulosa gasosa; allora abbiamo innanzi a noi una nebulosa doppia, quali se ne riscontrano tante in cielo. Oppure la densità delle due masse ed il movimento oscillatorio delle sue molecole, che risulta dalla loro parziale dipendenza, possono essere già tanto avanzati, che esse incomincino a splendere intensamente, vale a dire, siano divenuti Soli. La fisica insegna in qual modo poi con una condensazione ognor crescente, e sempre maggiori vincoli, si produca uno stato della materia fluido-incandescente e finalmente solido.

La riunione delle ultime grandi masse di un tale anello generatore di pianeti, può essere avvenuta in un'epoca nella quale questi corpi erano fluidi incandescenti od anche coperti già da una crosta solida. Nel primo caso non rimarrebbe traccia del procedimento; nell'ultimo però dovrebbero rimanere sulla superficie del corpo maggiore e per effetto degli urti delle piccole sfere, delle formazioni, molto simili alle pianure-mari circolarmente contornate da pareti, alle montagne ad anello, e finalmente alle piccole cavità dei crateri della Luna e quali sono qui rappresentate nella nostra tavola, che rende anche sensibile l'impressione di un eclisse totale di Sole sulla Luna. Descrivendo la configurazione della superficie lunare, abbiamo già avvertito che le grandi pianure a bastioni non vogliono essere attribuite ad azioni che operarono dall'interno verso l'esterno e paragonabili ai processi vulcanici della nostra Terra. In modo speciale si pronunzia contro ciò l'enorme esten-

ECLISSE DI SOLE SULLA LUNA

Paesaggio lunare disegnato da H. Arnus

sione ed il fondo del cratere che, senza eccezione, sta più in basso del suolo circostante. Si sono fatti molti tentativi interessanti per riprodurre artificialmente questa configurazione dei crateri lunari. Fra essi emergono quelli del fisico Ebert, i quali però a primo aspetto sembrano pur sempre testimoniare in favore della natura vulcanica dei crateri lunari. Ebert fece sprizzar fuori, a scatti, da un'apertura, una lega metallica facilmente fusibile, e la lasciò quindi raffreddare, e si formò veramente un bastione circolare attorno ad una pianura collocata in fondo, come quella che abbiamo rappresentata nella figura. Sulla Terra i vulcani presentano dei fenomeni affatto simili, come ad esempio, in Yellowstonepark, e non si può contestare, che un gran numero delle forme analoghe, che a centinaia di migliaia si contano sulla superficie lunare, siansi formate a quel modo. Ma formazioni dell'estensione delle pianure-mari, come il Mare Crisium od anche la pianura a bastioni di Platone, non possono assolutamente venir spiegate a quel modo. Ivi non si vede mai neppure una traccia di un cono centrale, che tuttavia avrebbe dovuto assumere dimensioni affatto colossali, se avessero dovuto emanare da esso le onde a forma d'anelli che si estendono per delle miglia. Anche i sistemi di raggi che si diramano esclusivamente dai crateri, e che nel loro aspetto sono del tutto simili alle fessure che una pietra lanciata vigorosamente contro la lastra di vetro di una finestra vi produce, attestano in favore della caduta di masse sferiche sulla superficie della Luna e le formazioni dei così detti crateri. Le spaccature furono subito riempite dal magma che rifluiva dal di sotto, e la cui superficie liscia rimase più splendente della rimanente vecchia e più grigia superficie lunare. A cotali corpi, che, precipitando sulla superficie lunare la solcarono, accennano anche per ultimo le valli trasversali a percorso affatto rettilineo, e che tanto di frequente si presentano sulla Luna (il cui rappresentante caratteristico è perciò la grande valle trasversale nelle Alpi; V. tavola a pagina 112) e che d'altra parte non stanno in alcuna connessione tettonica col carattere montagnoso dei dintorni.

Fig. 288. — Cratere lunare artificiale, secondo Ebert.

Presentemente sembra che il processo, per dir così, di pulitura dell'orbita lunare dalla materia ivi altra volta distribuita, sia interamente compiuto, o per lo meno alla corrispondente distanza dal centro della Terra non esiste un altro secondo corpo di dimensioni avvertibili, che la Luna avrebbe ancora potuto annettersi. Dei corpi piccoli, grossi quanto meteoriti, e le cui masse appartennero all'anello fin dal principio del processo di formazione possono ancora oggi librarsi colà ed occasionalmente cagionare la formazione di un nuovo cratere. Per contro coll'anello, dal quale si generò la Terra, non si è ancora tanto avanti, giacchè la Luna è ivi rimasta ancora come un secondo corpo o nucleo grosso di massa dell'anello primitivo. Da lungo tempo la Terra lo ha costretto a starle vicino, ma d'altra parte abbiamo già visto, che la Luna descrive attorno al Sole un'orbita ondulata quasi indipendente. La Terra attirerà sempre più a sè questo suo satellite.

Quand'anche l'accelerazione secolare constatata nel movimento della Luna, della quale già tenemmo discorso, non potesse venire attribuita all'azione contraria di un mezzo resistente (che infine dei conti non è altro se non la manifestazione degli urti, che noi vedemmo essere la cagione dell'ordinamento dell'Universo) pur tuttavia non può sussistere dubbio di sorta, che essa debba verificarsi nello spazio celeste, quale ci è noto. Già da lungo tempo la Terra ha trattenuto la Luna nel suo movimento di rotazione; quando la superficie di essa era ancora fluida, incandescente, ad ogni rotazione della Luna attorno al suo asse la sua superficie era percorsa da una gigantesca ondata di marea, cagionata dall'attrazione della Terra. Questa ondata si è di poi solidificata col resto della superficie, e certe circostanze hanno fatto sì, che il rigonfiamento solido verso la Terra fosse maggiore di quello dell'onda di marea situata dall'altra parte della Luna. La Luna è in fatto, verso la Terra, foggiata a pera o a uovo, e questo rigonfiamento oscilla ancora sempre da una parte e dall'altra della sua posizione media, donde deriva quella che fu chiamata la *librazione* della Luna, che ci fa scorgere qualche cosa più della metà, circa quattro settimi della sua superficie.

D'altra parte l'ondata di marea che la Luna produce a sua volta sulla Terra, durante la sua rivoluzione, deve produrre sopra quest'ultima degli attriti, i quali hanno per conseguenza un graduale rallentamento della rotazione terrestre, cioè un allungamento del giorno. J. H. Darwin ha mostrato, che coll'applicazione del solo principio di Newton, l'azione reciproca delle forze d'attrazione fra la Terra e la Luna deve finalmente condurre a ciò, che la Luna si accosta alla Terra fino a tanto che, secondo la terza legge di Keplero, la durata della sua rivoluzione sia divenuta eguale alla lunghezza di un giorno terrestre, che frattanto si sarà allungato. Soltanto quando i due corpi si muoveranno in guisa come se fossero avvinti l'uno all'altro da un vincolo invisibile, così che entrambi durante la comune rotazione, si guardino sempre collo stesso emisfero, sarà stabilita una condizione di perfetto equilibrio. In ciò però non si è tenuto conto di un mezzo resistente o di altre necessarie correzioni della legge di Newton. Ma queste possono agire soltanto nel senso di provocare per ultimo la riunione dei due corpi. Ma questa riunione vuol dire, tanto per la Luna, quanto per il nostro bel mondo terrestre, *la fine;* l'urto svilupperà una quantità enorme di calore, che farà fondere insieme i due corpi. Diremo più avanti e più minutamente delle fasi di queste vicende che sono per noi molto lontane.

Secondo le nostre idee sulla formazione del mondo, attorno alla Terra circolarono altra volta dei corpi maggiori, i quali si dovevano riguardare, dal più al meno, come satelliti della Terra. A quel modo che di simili masse caddero sulla Luna, e vi produssero le pianure con bastioni, lo stesso deve essere accaduto per la Terra. Ma se sulla Terra non si riscontrano formazioni simili ai crateri lunari, ciò ha sua ragione di essere nel fatto, che essa, come corpo maggiore, si è raffreddata più lentamente della Luna e quindi a quell'epoca, nella quale dovevano rimanere sulla Luna delle traccie notevoli, non si era ancora formata alcuna superficie solida. Allora come adesso dei corpi più piccoli, quali i meteoriti, dovevano venir rallentati nel loro corso dall'atmosfera terrestre, così che la forza del loro cozzo era molto minore che sulla Luna, che assai probabilmente, anche in quei tempi remoti, possedeva un'atmosfera di debole densità. Pertanto, se altra

volta fosse esistito un secondo satellite della Terra che in un'epoca geologica non troppo remota si fosse precipitato sulla Terra, e con ciò ne avesse cambiato l'asse di rotazione, allora il mistero non ancora chiarito delle fluttuazioni del clima nelle epoche geologiche, e specialmente la presenza, in altri tempi, di piante della specie delle palme, in regioni ove oggi regna per mesi la notte polare, sarebbe spiegato. Le variazioni delle latitudini, tuttora in corso di studio, sarebbero quindi gli ultimi avanzi dell'effetto di quell'urto, che deve rivelarsi con movimenti conici dell'asse terrestre che divengono ognora meno sensibili. Se noi accettiamo le opinioni cosmogoniche svolte fin qui, l'esistenza, in epoche remote di un secondo, ed anche di molti altri satelliti della Terra, sarebbe una necessità, e soltanto sull'epoca nella quale la penultima di queste lune è caduta sulla Terra, nulla si può dire. Forse un giorno i risultati delle indagini geologiche condurranno intorno a ciò a conclusioni più determinate di quelle che possa fornire l'Astronomia.

D'altronde neppure oggi l'orbita della Terra è libera da particelle di materia; noi sappiamo che secondo i concetti moderni la cintura della luce zodiacale non si può altrimenti spiegare che colla presenza di milliardi di piccoli corpi, che nell'ambito dell'orbita terrestre formano un anello intorno al Sole, simile all'anello di Saturno, solamente che in questo la materia è distribuita in modo molto più addensato. La Terra si annette continuamente di tali particelle. Le pioggie di stelle cadenti, che si versano costantemente sulla Terra da tutte le plaghe del Cielo, rappresentano sensibilmente agli occhi in massima parte questo incessante lavorìo di aggregazione, a mezzo del quale essa aumenta ognora la sua massa. Anche la contraddizione nella massa dei piccoli pianeti, calcolabile colle perturbazioni di Marte, col loro numero quale è oggi conosciuto, accenna al non completo addensamento in quelle regioni dell'anello primitivo.

Come abbiamo veduto innanzi, la velocità delle singole parti della nebulosa ellittica o lenticolare, deve diminuire dall'esterno verso l'interno, finchè non sia avvenuto alcun essenziale restringimento della massa totale. Ma mentre da un anello diffuso si vien formando, per il cozzo delle sue varie particelle, un pianeta, le particelle che circolano a maggiore distanza dal centro, poichè esse si muovono più rapidamente, debbono urtare il corpo che si sta formando con forza superiore a quella delle altre che appartengano alle regioni interne dell'anello. In causa di questo divario si produce una rotazione del pianeta in formazione, pel verso nel quale noi vediamo ruotare realmente i pianeti attorno al loro asse. L'emisfero che i pianeti tutti rivolgevano in un dato momento al Sole, si muove intorno al proprio asse, nella stessa direzione, secondo la quale si compie il movimento del pianeta stesso lungo la sua orbita; esso quindi in certo qual modo va ruotando sulla sua linea d'orbita. L'asse di rotazione deve in principio essere perpendicolare al piano dell'orbita, l'inclinazione dell'eclittica deve originariamente essere stata nulla per tutti i pianeti. Anche presentemente questo valore non è molto grande per nessun pianeta, tranne che per Urano. Si è già accennato prima al modo con cui poterono prodursi le deviazioni attuali. Poco si sa intorno alla velocità di rotazione di Nettuno e di Urano; alcuni indizi farebbero ritenere che quest'ultimo abbia una rotazione di breve durata, simile a quella che fu constatata per Saturno e Giove (Leo Brenner). La fascia dei piccoli pianeti costituisce poi una

separazione netta fra i pianeti maggiori con rotazione rapida ed i minori più interni con rotazione lenta. Noi sappiamo che si è constatato con certezza che Mercurio ha una rivoluzione intorno al Sole di durata eguale alla sua rotazione, e che molto probabilmente lo stesso accade per Venere. Questa diminuzione di velocità nel sistema planetario, dai suoi confini esterni verso l'interno, si spiega immediatamente colle nostre vedute intorno alla formazione del mondo; giacchè la differenza delle velocità fra la parte esterna ed interna di un anello che va formando dei pianeti, deve divenir sempre minore, quanto più la massa della forma cosmica si addensò al suo centro, od anche quanto più piccoli divennero i corpi dell'anello. Nella presente distribuzione della materia, per contro, la velocità cresce col diminuire del raggio. Così, ad esempio, se oggi dall'anello di Saturno si formassero ancora dei satelliti a questo pianeta, il che d'altronde non è che una questione di tempo, questi dovrebbero, poichè (specialmente stando alle investigazioni spettrometriche di Keeler) la velocità delle varie parti dell'anello cresce verso il centro secondo la misura fissata dalla terza legge di Keplero, ruotare intorno al proprio asse pel verso opposto a quello del pianeta. Noi possiamo quindi ammettere con probabilità che anche gli anelli dai quali furono generati Mercurio e Venere, a somiglianza di quello di Saturno, circondavano il Sole in uno spazio già assai povero di materia. La velocità di rotazione originaria insignificante posseduta probabilmente da questi pianeti prossimi al Sole, fu ben presto completamente distrutta dall'attrito delle potenti maree che il Sole suscitava sopra di essi, così che questi probabilmente (secondo Schiaparelli) rivolgono costantemente la medesima parte, al corpo principale del nostro sistema, come per le stesse ragioni fa la Luna rispetto alla Terra, e come probabilmente devono fare tutti gli altri satelliti.

A quel modo che noi vedemmo il primo anello produttore di pianeti venir formato in conseguenza della disuguale distribuzione della materia nel corpo lenticolare originale o del cozzo di questo con un altro, potremmo immaginare che anche gli altri siano stati composti. Sarebbero quindi necessarie altrettante condizioni o penetrazioni dall'esterno quanti sono i pianeti. In realtà invece si può dimostrare che si richiede una sola di tali penetrazioni per veder comparire tutti i rimanenti pianeti. Come abbiamo esposto a suo tempo, le divisioni dell'anello di Saturno si presentano in quelle situazioni nelle quali la durata della rotazione di un corpo che vi si trovasse sarebbe commensurabile con quella di un satellite o più potente o più particolarmente vicino. Noi vedemmo anche che ciò è una conseguenza necessaria delle perturbazioni che si accumulano colà. Il primo pianeta, il più esterno, immaginato in formazione, doveva produrre necessariamente delle linee di separazione simili nella massa gasosa, dalla quale esso si era staccato; e la prima e più pronunziata precisamente là ove la durata della rivoluzione di una parte del corpo primitivo avesse avuto per valore la metà di quella del primo pianeta. La rivoluzione di Nettuno ha una durata di qualche cosa meno di 165 anni, di cui la metà è 82. Quindi ivi bisognerebbe supporre esistessero i confini interni di quell'anello che doveva poi formare il secondo pianeta. Il limite esterno dell'anello non può venire assegnato, giacchè non si ha alcuna misura della durata del processo di progrediente condensazione della nebulosa iniziale. In ogni caso però tra la formazione del primo e del secondo pianeta dovette

trascorrere un lungo intervallo di tempo, ed il processo di addensamento della nebulosa ancora poco densa esser molto avanzato, giacchè la formazione della linea di separazione poteva soltanto aver luogo quando la massa del primo pianeta si fosse almeno, in certo qual modo, riunita. Una massa uniformemente distribuita lungo un anello non esercita la perturbazione che stiamo considerando. Risulta quindi che il secondo pianeta non poteva formarsi molto al di là del limite interno del secondo anello; e ciò corrisponde completamente ad Urano, la cui rotazione di 84 anni è di solo due anni superiore a quella del limite interno dell'anello considerato. Per i pianeti seguenti le circostanze vanno facendosi molto più complicate, e tanto più quanto più i pianeti esterni perturbatori concorrono assieme a produrre le altre linee di divisione; però dalla regolarità approssimata che si rivela nelle distanze dei pianeti dal Sole (Regola di Bode e Titio) si può conchiudere ad una prosecuzione dello stesso modo di agire.

Noi abbiamo veduto formarsi un sistema ordinato di corpi celesti, che rivela tutte le particolarità che si osservano nel nostro sistema planetario sotto la sola azione della selezione fra gli elementi della materia mobili e disugualmente distribuiti nello spazio. Ma occorre avvertire in ciò esplicitamente ancora una volta che negli sviluppi precedenti non occorreva fare supposizione di sorta circa lo stato d'aggregazione e la grossezza degli elementi materiali fra il movimento dei quali doveva aver luogo quella selezione. Per noi doveva in ciò essere indifferente il considerare molecole di poca estensione, appartenenti ad un ammasso gasoso, od a schiere di Soli costituenti un esteso sistema di Vie Lattee, al seguito ciò non importava. Noi crediamo indubbiamente che nei nostri laboratori noi vedremmo prodursi dei sistemi di mondi di natura eguali a quelli che osserviamo in Cielo, quando noi potessimo abbandonare a loro stessi, e fuori dell'azione della gravità, degli ammassi di materia. Anzi è probabile che fra le minutissime agglomerazioni di materia che noi chiamiamo molecole, e che pur troppo fino ad ora non furono viste che dall'occhio della teoria, anche malgrado la gravità, avvengano dei movimenti, che per l'indole uguagliano quelli dei corpi celesti, sebbene per noi si presentino soltanto nei fenomeni di luce e di calore. Per le piccolissime distanze dei corpi molecolari che noi ora consideriamo, è certo che la forza di attrazione crescente col diminuire del quadrato della distanza diviene notevolmente maggiore di quella della Terra. Ciò è provato dalla connessione delle singole parti di un corpo solido. Per questi corpi la forza d'attrazione della Terra è da paragonarsi con quella forza che sospinge attraverso all'Universo il sistema solare e le altre stelle, e che per tutte emana egualmente da un'origine sconosciuta.

Avendo a questo modo delineato un raffronto che ci conduce verso il basso a congetturare innumerevoli sistemi di mondi di ordine minore, nella testa della spilla che teniamo fra le dita, nulla ci vieta di prolungare verso l'alto il paragone e per lo meno di non riguardare come impossibile che tutte le schiere di Soli, che per noi popolano il firmamento fin nelle sue più lontane profondità, siano a loro volta soltanto le molecole (sistemi di Soli) di atomi che si vanno ordinando di una regione relativamente piccola, che appartiene ad un mondo di dimensioni grandissime. Se anche di fronte a questo inusitato concetto ci assalgono le vertigini dinnanzi all'immane estensione dell'Universo, alla quale esso conduce, tuttavia noi dobbiamo frenare la nostra meraviglia, poichè non la grandezza di una

cosa merita questa ammirazione, e non per questa grandezza soltanto il nostro intelletto è trattenuto, quando noi non lo spingiamo fino all'infinito assoluto; la merita invece, e tutto intiero vogliamo consacrare il nostro animo ammirato a quel grandioso ordine dominante, che il nostro occhio scrutatore discopre fin negli ultimi recessi dell'Universo e che conduce e guida il tutto come le parti a sempre più elevata perfezione ed unità. Già fin da quando stavamo per lanciarci nella profondità di quel miracolo di mondi celesti, dei quali ora ci sta dinanzi un'imagine nei suoi tratti essenziali, avevamo dichiarato che si era il grandioso ordine della macchina del mondo che noi avevamo di mira. Frattanto le nostre ultime considerazioni ci hanno mostrato, come quest'ordine è una conseguenza necessaria di una legge semplice affatto, e che è una proprietà irresistibile della materia, quella di disporsi in sistemi di mondi, non appena in una regione qualunque dello spazio una qualsiasi irregolarità della sua distribuzione vi dia il primo impulso. È certo meraviglioso il vedere come precisamente lo stato caotico, irregolare e confuso della materia porti in sè il germe, dal quale deve fiorire per mezzo della selezione incessante degli opposti, del bene dal male, l'ordine perfetto e la regolarità. Nella materia, anche in quella che noi chiamiamo morta, è riposta una tendenza eterna, indistruttibile, ad elevarsi alla perfezione, che non riposa finchè ovunque nell'Universo esiste ancor materia in movimento, che non si diffonda per tutto lo spazio in completa uniformità.

A dire il vero però questa tendenza ad assurgere ad ordini sempre più alti non può continuarsi in perpetuo. In tutti i gradi dell'evoluzione naturale si rivela il principio di un oscillare continuo in un senso ed in quello opposto fra limiti estremi, che prima passa gradatamente per orbite estese in lunghezza, e che quindi si vanno sempre più arrotondando, smuzzando gli estremi. La nostra natura terrestre oscilla fra il giorno e la notte, l'estate e l'inverno, fra le epoche glaciali ed epoche di uno spiegamento lussureggiante della natura organica. Quindi anche per l'ordine dei sistemi di mondi, accanto alla linea ascendente starà quella discendente. Facciamoci a considerare lo sviluppo della natura organica, la cui manifestazione è quella della produzione di esseri intelligenti, come il culmine dello sviluppo di un mondo, al che noi siamo sempre ben pronti ma meno autorizzati, e vedremo in Cielo un corpo, la Luna, che ha già oltrepassato quel punto elevato, se pur esso lo ha mai toccato, sul quale non esistono certo più esseri intelligenti, se pur ne esistono di quelli di organizzazione inferiore. Certamente la costituzione della natura organica e la sua evoluzione è legata a determinati limiti di temperatura, ovunque possa essa trovarsi nell'Universo. Verso il basso il limite è dato dall'immobilità che trattiene nella materia quando questa abbia raggiunto la sua massima rigidità, il che si verifica allo zero della temperatura assoluta (— 273 gradi centigradi). Molto prima di raggiungere questo estremo ogni attività della materia diminuisce in alto grado. Le reazioni chimiche, che secondo le nostre vedute atomistiche non significano altro che la compenetrazione di minutissimi sistemi di mondi (molecole) variamente costituiti, ed il differente raggruppamento risultante dalla combinazione, si rallentano, e per ultimo cessano affatto. Lo scambio vivace delle varie parti di un organismo fra di loro, che è la vera caratteristica della vita, deve quindi cessare colla limitazione sempre più spinta cui vanno soggette le orbite delle molecole e dei loro atomi.

Con ciò è data la spiegazione atomistica del graduale estinguersi di tutta la vita col crescere del freddo. Quanto più è basso il gradino dell'evoluzione sul quale sta un organismo, e tanto più debole è l'azione mutua che tiene legate le varie sue parti. Perciò si comprende come gli organismi inferiori siano atti a sopportare freddo più intenso che i superiori. Ciò fu messo in luce più particolarmente dalle ricerche di Raoul Pictet, che espose a temperatura fino di 100 gradi sotto zero, ed in parte per delle settimane, una serie di esseri viventi debolmente organizzati, e trovò che questi organismi conservavano la loro attitudine a vivere, rivivendo con un riscaldamento lentamente progressivo rispettivamente a seconda della loro posizione sulla scala dell'evoluzione.

Gli esseri infimi, i bacteri, si mostrarono i più resistenti al freddo, e sembra infatti che essi non possano venir da esso distrutti; ma anch'essi sospendono temporaneamente la loro attitudine a vivere a certi gradi di freddo. Per contro sembra che i germi non perdano la loro vitalità, per quanto lungo sia il tempo durante il quale essi vengono sottoposti a qualsiasi bassa temperatura, quando solo si abbia cura di rimuovere da essi preventivamente ogni traccia di umidità, giacchè la dilatazione nel congelamento infrange le pareti delle cellule.

La stessa ragione assegna alla vitalità un limite superiore di temperatura, non appena le vibrazioni calorifiche diventano troppo grandi, rispetto a quelle che possono ancora verificarsi nell'interno delle cellule senza infrangerle. Questa condizione concede al limite superiore un grande campo che dipende per un lato dalla sostanza dalla quale è costituito l'essere vivente che si considera e dall'altra dalle dimensioni delle cellule. In un complesso determinato di corpi celesti, quale il nostro sistema solare, in grazia dell'uguaglianza di natura della materia che ne costituisce il volume, e dei limiti naturali di grandezza, ai quali debbono essere costretti gli esseri viventi qualunque essi siano, certo anche i gradi di temperatura, entro i quali è possibile la vita, non sono molto differenti. Così, ad esempio, poichè nel nostro sistema solare l'acqua non manca mai sotto una forma o sotto un'altra, e poichè non possiamo pensare lo sviluppo della vita organica senza il concorso di essa, così il limite esterno della vitalità per tali organismi deve essere presso alla temperatura, sotto la quale l'acqua si trasforma in vapore, giacchè quando ciò avviene le molecole s'allontanano l'una dall'altra con impeto irresistibile ed infrangono ogni tessuto cellulare. Sulla nostra Terra, alla pressione atmosferica, ciò avviene a 100 gradi centigradi, questo limite però si sposta in altre condizioni di pressione. Così, ad esempio, su Marte, secondo ogni probabilità l'acqua bolle già a circa 50 gradi. Per contro sotto l'immane pressione, che è prodotta dall'atmosfera di Giove, il punto di ebollizione è raggiunto soltanto a temperature molto più elevate. Poichè le atmosfere dei corpi celesti debbono fino ad un certo punto essere in rapporto colla grandezza dei corpi celesti stessi, così ne segue che i limiti della vitalità divengono per i grandi corpi sempre più lontani; e quindi sui corpi maggiori havvi corrispondentemente più ampio campo alla varietà delle manifestazioni della vita. Ora poichè a sua volta nessuna delimitazione è imposta alla grandezza dei corpi celesti, ed anzi per quanto sappiamo, esistono dei mondi enormemente più grandi di quello che abitiamo, così ci è forza, ma colla condizione, che però non ci è dato di verificare in modo alcuno, che la vita dipenda ovunque come sulla Terra dalle combinazioni degli organogeni (idrogeno, ossi-

geno, azoto, carbonio), ammettere, che lo spiegamento del mondo organico in altre regioni dell'Universo, deve essere di gran lunga più vario, perfetto e bello di quello che conosciamo.

Nel discorrere dello sviluppo della vita abbiamo di proposito saltato a piè pari la questione del come si debba concepire l'origine del primo vivente sui corpi celesti; giacchè tale questione racchiude, a parer nostro, in sè ancora qualche cosa d'assoluto che noi non potremo mai stabilire completamente. Di due cose una sola evidentemente è possibile: o la vita non è che una manifestazione con leggi più complicate della così detta natura morta, un processo di cristallizzazione; allora essa deve potersi originare, ovunque sussistano le condizioni fisiche, e particolarmente le temperature necessarie; ed in questo caso la questione dell'origine non oppone alcuna difficoltà di principio. Oppure la vita è qualche cosa di speciale, una specie particolare di materia; allora nella nostra presupposizione si hanno atomi morti e viventi; i morti possono solamente formare i corpi cosmici, quali noi li vedemmo prodursi, i viventi soltanto esseri organici che sentono e pensano. In questo caso non vi sarebbe alcuna origine, la vita avrebbe sempre avuto esistenza, ovunque ci fosse stato materia, che però non fu creata di per sè, ma che unicamente col suo continuo agitarsi dà ognora origine a nuovi mondi. Noi possiamo quindi immaginare che i germi della vita che non possono venir distrutti nè dal freddo dello spazio cosmico, nè dal tempo, vadano errando per l'Universo e giunti nell'atmosfera di un corpo celeste, sul quale regnano condizioni propizie, vi trasportino la vita. Se si accettano le teorie di Darwin, basta questo solo germe di un infimo organismo vivente per sviluppare gradatamente tutto il mondo della vita, in quanto almeno il corpo celeste che si considera sia atto a ciò. Nei due casi pertanto la questione dell'origine della vita sopra un dato corpo celeste non presenta difficoltà fondamentali.

Da quanto precede appare chiaramente che la vita può popolare soltanto transitoriamente ogni singolo corpo celeste, giacchè essa è legata a determinate ampiezze di vibrazione delle molecole, a certe temperature, che nella storia dell'evoluzione dei corpi celesti durano soltanto per un certo lasso di tempo. Finchè i corpi celesti si trovano ancora allo stato aeriforme, ovvero in quello di liquido incandescente, la vita è per noi inconcepibile; quindi il nostro Sole e tutti gli altri millioni di Soli dei quali è cosparso il firmamento, non possono ancora accogliere nel loro grembo la vita, e nel nostro sistema solare stesso vi sono ancora dei pianeti, come particolarmente Giove e Saturno, sui quali il procedimento di condensazione, secondo ogni probabilità, non è ancora sufficientemente progredito per servire a quel fine elevato. I corpi maggiori, nei quali un maggior numero di molecole deve venir costretto ad oscillare entro i ristretti necessari limiti d'ampiezza, richiedono un tempo più lungo per prepararvisi, tutta la loro evoluzione è più estesa, essi sono longevi. Da quanto si vede, Giove è oggi ancora in uno stadio, attraversato dalla Terra or sono millioni di anni, quando le roccie primitive non stratificate deposero attorno al suo globo la prima corazza. Pei suoi satelliti per contro Giove è un secondo Sole di dimensioni enormi, che deve irradiare verso di essi poca luce, ma ancora una grande quantità di calore, per mantenervi fiorente la vita forse ancora sopra la metà che è costantemente rivolta al pianeta, e che altrimenti vi sarebbe, come sul nostro satellite, estinta da lungo

tempo. Noi abbiamo cercato di rappresentare visibilmente ciò, nel nostro paesaggio ideale (pag. 596). La figura ci aiuterà a portarci col pensiero in un mondo che d'altronde è costituito a somiglianza del nostro, il cui cielo però è ornato dalla sfera di un pianeta, il cui disco apparente è circa 40 volte maggiore di quello che a noi appaia il Sole, mentre questo vi si mostra cinque volte più piccolo. Giove pertanto appare a ciascuno dei suoi satelliti, come il corpo principale del Cielo intiero, che pel rimanente, come la Terra per la Luna, veduto dallo stesso punto superficiale di ciascun satellite, può di poco o punto cambiare la sua posizione rispetto all'orizzonte, se è vera la nostra congettura che i suoi corpi secondari a lui rivolgano costantemente la stessa parte. Il grandioso pianeta cambia periodicamente le sue fasi colla rivoluzione sinodica del satellite corrispondente, e quindi in causa del rapido movimento di esso diviene come un immane orologio sul quale si possono leggere esattamente le epoche del giorno. Quasi quotidianamente il Sole scompare dietro il gigantesco pianeta, e procura perciò lo spettacolo di un eclisse solare; oppure uno degli altri quattro satelliti, i quali, pur trovandosi contemporaneamente nelle fasi più differenti, percorrono il Cielo, viene colpito dall'ampio cono d'ombra del pianeta. Lo spettacolo del Cielo ci apparirebbe molto più attraente e vario, se noi potessimo realmente trasportarci sopra uno di questi mondi secondari, le cui condizioni astronomiche, in quanto lo consideriamo come un punto d'osservazione situato sopra un qualsivoglia corpo permanente del nostro sistema, e per rispetto alla posizione ed al movimento di tutti i corpi celesti a noi noti, noi sappiamo assegnare ad ogni istante, quasi colla stessa esattezza, come per l'orizzonte di un luogo terrestre d'osservazione.

Noi possiamo quindi riguardare Giove come un Sole invecchiato. Esso, oggi ancora, irradia traccie di luce propria, e per i suoi dintorni immediati ancora calore notevole. Adottando per unità di tempo, quella che vale a computare le epoche nell'istoria dell'evoluzione dei corpi celesti, si può dire che è trascorso poco tempo da quando Giove formava col Sole una vera stella doppia, che vista dai pianeti vicini al Sole non si doveva differenziare affatto da quelle stelle doppie a rivoluzione breve ed a componenti molto disugnali, quali se ne dànno altre nello spazio celeste. Probabilmente il pianeta possiede anche solo da poco una crosta sottile sovrastante all'interno ancora fluido ed incandescente, crosta che può scoppiare o venire infranta occasionalmente per la caduta di piccoli corpi o per rivoluzioni interne, cagionando sopra estese regioni delle manifestazioni analoghe alla macchia rossa, che abbiamo a suo luogo minutamente descritta. Quando un giorno il suo più vicino satellite, detto il quinto, che gli si è già di molto avvicinato, cadrà su di esso, allora Giove diverrà ancora una volta, e per breve tempo, un secondo Sole del nostro sistema, ed osservatori situati così lontano da non poter più, in causa della troppo grande distanza da noi, separare Giove dal Sole, vedranno quest'ultimo brillare d'un tratto più vivacemente, quale stella variabile senza periodo. Ma il lavorìo di raffreddamento, ancora benefico in quello stadio, ridurrà man mano alla quiete le molecole messe in agitazione e vincolerà sempre più le loro orbite, cosicchè avverrà un consolidamento permanente della crosta; l'atmosfera, oggi torbida ed opaca, diverrà limpida e la luce solare potrà anche là far germogliare e prosperare i germi della vita. Giove diverrà allora un altro mondo più grande e perciò più bello che il nostro non sia.

Ma frattanto il processo di raffreddamento, di rallentamento del movimento degli atomi continua senza sosta. Al suo dominio appartengono anche tutti quei procedimenti chimici che legano e convertono i liquidi in solidi ed i gas in combinazioni liquide. L'involucro d'aria e d'acqua dei pianeti deve quindi diminuire di continuo. Secondo quanto ha rivelato l'investigazione moderna, Marte sembra essere un mondo, sul quale questo processo è già molto avanzato; in ogni caso l'atmosfera vi è bassa e sottile, essa contiene poco vapor d'acqua, poche nubi. Ciò che prima era riguardato come i mari di Marte, sono molto probabilmente soltanto bassi piani, che vengono allagati allo squagliarsi delle nevi, e soltanto così possono dar ricetto alla vita, mentre le grandi massi terrestri, eternamente invariate, appaiono quali sterili regioni deserte, attraversate unicamente dal meraviglioso sistema dei così detti canali. È possibile che questi siano larghi solchi costrutti dall'arte di esseri intelligenti, che forniscono mezzo di comunicazione fra le bassure che accolgono la vita.

Se l'assorbimento dell'aria e dell'acqua si continua anche sulla Terra, e non può essere diversamente, anche il nostro pianeta dovrà assumere un aspetto affatto simile a quello che, secondo quanto esponemmo, ne offre Marte. L'interno delle maggiori masse continentali terrestri, mostra già presentemente un carattere che comincia ad accostarsi ai paesaggi gialli di Marte. L'interno dell'Africa è in massima parte un giallo e sterile deserto di sabbia, che visto da lontano è identico ai continenti di Marte; l'altipiano del continente americano, al pari dell'interno dell'Asia e dell'Australia, è coperta da estese praterie, che in pieno estate sono completamente secche; ed una fascia delle quali in America comincia ora ad essere dissodata e resa coltivabile dall'energia indomita di quella razza d'uomini, da una parte e dall'altra della ferrovia del Pacifico, che pressochè in linea retta corre da mare a mare attraverso al paese. Se questa attività civilizzatrice continuerà nella via intrapresa, allora queste regioni fiancheggianti la grande via di comunicazione verranno irrigate, ricoperte di campi ed imboschite con alberi utili, e guardate dalle distanze dei corpi celesti si staccheranno un giorno dalle nude estensioni delle praterie, come presentemente i così detti canali di Marte dai loro dintorni. La graduale essiccazione dei continenti progredirà incessantemente, ma con ciò le sponde dei mari verranno estendendosi, e si prepareranno così eccellentemente per la vita nuove estensioni di terra rese fertili dal fango marino. L'erosione demolirà ognor più le montagne che i fiumi porteranno nel profondo dei mari; questi, ove altre influenze geologiche non vengano a spostarne la linea di sponda, diverranno poco per volta sempre meno profondi, e vaste aree di essi, come il Mar Baltico ed il Mediterraneo che già ora sono poco profondi, dovranno divenire delle bassure che saranno parzialmente allagate solo in primavera, quando i fiumi sono in piena, come sembra avvenire per regioni analoghe sopra Marte. Qui si avrà la massima fertilità e la vita, fuggendo i continenti fatti sempre più poveri, si rifugierà in esse. Per distribuire e curare l'acqua, elemento della vita, divenuto continuamente più raro, i fiumi verranno sistemati con scavi attraverso agli spartiacque delle varie regioni fluviali, divenuti nel frattempo ognor più bassi, per ottenere fra esse un collegamento permanente, ad esempio, tra il Mar Baltico ed il Mediterraneo. I corsi antichi dei fiumi, fatti sempre più rettilinei, si convertiranno in canali, nel senso dei canali di Marte, quando siano provveduti di

piantagioni da ambe le parti. Così per ultimo la Terra diverrà simile a Marte, che come corpo più piccolo, deve aver più rapidamente compiuto il suo destino.

Ma se le cose stanno realmente come noi le abbiamo qui ipoteticamente svolte, e se su Marte sono veramente assegnati alla vita limiti così ristretti, pur tuttavia una volta ancora, dopo una terribile catastrofe mondiale, cagionata dalla caduta del satellite più vicino, che dista oggi dalla superficie di Marte quanto Berlino da New York, la vita risorgerà colà. Quell'urto produrrà un'enorme quantità di calore, una gran parte della superficie sarà probabilmente convertita in liquido incandescente, le combinazioni chimiche, che trattenevano fissate nelle roccie l'acqua e l'aria, saranno di nuovo risolte, si formerà un'ampia atmosfera, dei mari estesi si origineranno. La vita potrà ricominciare il suo ciclo una seconda volta. Essa potrà nuovamente estinguersi e ravvivarsi, quando si riunisca al pianeta il secondo ed ultimo satellite; ed allora, sembra, sarà irrevocabilmente giunto per Marte il suo ultimo giorno.

La breve distanza di questi due satelliti di Marte dal loro comune centro di moto, considerata da un punto di vista alquanto differente da quello delle considerazioni precedenti, determina una serie di fenomeni strani, il discorrere dei quali non è senza interesse. Fobo, il satellite interno, descrive, come già vedemmo, una rivoluzione intiera attorno al pianeta nel brevissimo tempo di 7 ore 40 minuti e precisamente nella direzione stessa secondo la quale il pianeta gira una volta intorno al proprio asse in 24,6 ore. Il satellite quindi, in causa del suo rapido movimento, oltrepassa evidentemente il pianeta nella sua rotazione e partecipa non soltanto alla circolazione della vôlta celeste, prodotta dalla rotazione intorno all'asse, ma, contro alla regola generale, nell'intervallo di tempo di un giorno di Marte, sorge due volte ad Ovest ed altrettante tramonta ad Est, nel che fare esso attraversa anche due volte tutte le fasi delle vicende lunari. Nulla di simile si trova realizzato altrove in tutto il dominio del regno del Sole.

Ben diversamente si comporta il satellite esterno Deimos, che compie la sua rivoluzione in poco meno di 30 ore. Così avviene che, rimanendo di pochissimo indietro rispetto al movimento rotatorio del suo corpo principale, rimane per lungo tempo in una direzione quasi invariata sull'orizzonte di un punto della sfera di Marte, e rimane visibile in cielo senza tramontare per molti giorni consecutivi, benchè partecipi alla rotazione apparente di esso, con un forte ritardo. Per ciò l'illuminazione del suo disco varia regolarmente, e durante un giorno di Marte attraversa quasi tutte le fasi, andando dalla Luna nuova al primo quarto, da questo alla Luna piena, e da essa ritornando alla Luna nuova. Le stesse vicende presenta d'altronde il più interno satellite di Giove sul cielo di quest'astro.

Ritornando sulla serie dei ragionamenti esposti intorno alla storia dell'evoluzione dei membri del sistema solare, poniamo mente in particolar modo al Sole; anch'esso viene raffreddandosi ognor più. Dal suo bianco fulgente d'altra volta, quale è oggi ancora mostrato dalle stelle del primo tipo spettroscopico, quello di Sirio, esso è passato al secondo tipo, divenendo una stella gialla; il periodo undecennale delle sue macchie comincia a farne una stella variabile. Ove la formazione delle macchie solari continui, e si formino poi per ultimo dei campi di scorie di posizione quasi costante sulla sua superficie, allora le variazioni di splendore non avranno più un periodo di undici anni, ma concorderanno colla durata della rotazione

del Sole, che entra così in un'altra classe di stelle variabili. La sua luce verrà facendosi man mano sempre più rossa, com'è caratteristico delle stelle di questa natura, esso diverrà classificabile fra le stelle della terza classe spettrale, e finalmente si estinguerà affatto e con esso la vita nel suo vasto dominio. Ed in quel lasso di tempo i pianeti si saranno fatti più vicini al Sole, e verranno perciò ancora fruendo quanto più è possibile della sua moribonda luce. Quando poi Mercurio cadrà sul Sole, sacrificando così un membro della grande famiglia a vantaggio degli altri, ed il Sole brillerà improvvisamente come una stella nuova, allora potrà ricominciare per i superstiti un nuovo ciclo di evoluzione, e così di seguito finchè tutti i pianeti si siano riuniti al loro astro centrale. Se anche il Sole si raffredderà di nuovo, ciò non vuol dire che sia giunto allora il fine di tutta la vita, giacchè se il nostro astro centrale si comporta cogli altri Soli del sistema della Via Lattea, come le varie parti dell'anello di Saturno, l'una rispetto all'altra, allora anche i Soli si riuniranno fra loro, per formare dalle spire della Via Lattea dei pianeti di ordine più elevato, ed offrire la loro materia ad uno spiegamento di vita di una grandiosità per noi inconcepibile. Ma è possibile che molto prima di questa riunione il nostro Sole si sia accostato ad un astro ancora splendente, che percorre la sua orbita ad una distanza conveniente dal centro del grande sistema, e che l'azione dell'astro vicino abbia sul suo corpo immane suscitato e sostenuto a lungo la vita, mentre esso veniva circolando come satellite attorno al nuovo compagno di viaggio. Un tale accostamento di due Soli, che conduce per ultimo alla loro riunione in un sistema comune, può anche avvenire in un'epoca nella quale entrambi sono ancora luminosi. Così possono essersi formate quelle stelle doppie che si girano attorno mutuamente in orbite molto eccentriche, mentre nella costituzione normale di un sistema solare, il secondo Sole, che diverrà poi più tardi un pianeta, come nel caso di Giove, non può più descrivere un'orbita così eccentrica.

Il presentarsi relativamente frequente di stelle variabili del tipo di Algol prova che nelle vicinanze di un Sole splendente si riscontrano spesso delle masse oscure delle dimensioni di un globo solare. Gli immani effetti di maree che debbono verificarsi sopra tali stelle, le vengono accostando continuamente, mentre che il corpo ancora fluido ha preso una forma ellissoidica allungata verso l'altro, la quale si allunga sempre, ed a seconda della preponderanza dell'altro corpo può essere di nuovo trasformata in una configurazione anulare, alla quale è poi concessa un'esistenza alquanto più lunga. Così, tanto nel ramo ascendente quanto in quello discendente dell'evoluzione dei corpi celesti, la formazione anulare ha una parte importante.

Il fatto di piccoli corpi catturati da corpi più grossi dovrà presentarsi relativamente spesso, in quei casi noi godiamo dell'apparizione di una stella nuova che ben presto si spegne. Per quanto ci è dato scorgere nelle profondità dell'Universo coi suoi millioni di Soli, quel fatto accade appena una volta ogni dieci anni. Così l'incontro di masse solari nel sistema della Via Lattea si produrrà appena una volta probabilmente entro una lunga serie di migliaia d'anni; ciò nullameno rimane stabilito nel processo d'evoluzione qui esposto, che una stella nuova può brillare improvvisamente e quindi appartenere permanentemente al Cielo stellato. Per quanto si sa, un tal fatto non è mai avvenuto nei tempi storici; ma a tal

riguardo conviene riflettere, che solo da poche centinaia di anni esistono carte delle stelle visibili ad occhio nudo, nelle quali si possa riporre qualche fiducia. La scienza, giovane affatto, della fotometria, potrà dirci un giorno, se alcune stelle non mostrino un continuo affievolimento di luce, che solo si può determinare con misure esatte protratte per diecine di anni. Tali stelle rivelerebbero con ciò una relazione colle stelle nuove, giacchè di esse si potrebbe pensare, che abbiano un giorno brillato improvvisamente, mentre ora il periodo della loro riestinzione si misura probabilmente a centinaia d'anni, invece che a mesi, come con quelle. È quasi certo, che indagini istituite in questo senso, ci faranno riconoscere che molte stelle, che noi riteniamo permanenti, sono apparizioni transitorie, così che nei secoli o nelle migliaia d'anni venturi, esse scompariranno dalle costellazioni, alle quali oggi ancora appartengono; mentre in altre posizioni, nuovi astri a loro volta altereranno l'aspetto della vôlta celeste. Ad ogni modo l'antica credenza nell'immutabilità del firmamento deve cedere il posto ad una opinione più conforme al vero. Se acceleriamo col pensiero l'andare del tempo così che le migliaia d'anni si riducano a secondi, allora noi vedremo gli astri eterni correre attraverso allo spazio come stelle cadenti, ed i Soli cadere come le foglie degli alberi in autunno. Ma in loro vece ne sorgeranno altri, altri brilleranno, per popolare sempre ancora a nuovo l'Universo.

Però questi cicli di esistenza nel regno delle schiere di Soli, questo ondeggiare in alto e in basso fra l'accendersi e l'estinguersi di mondi, se le nostre opinioni non fallano, non possono nel loro succedersi avere la stessa estensione. Quando un sistema solare ha riunito tutta la sua massa e la sua materia si è intieramente raffreddata, esso può essere restituito a nuova attività di vita soltanto quando venga ad incontrarsi con una massa maggiore. Ma l'urto, può in certe circostanze essere così poderoso, che tutta la materia delle due masse divenga aeriforme, così che possa ricominciare da capo tutto il processo d'evoluzione finora descritto. Ma il numero degli atomi, che ora vi prende parte, è maggiore di quello che vi partecipò nell'ultimo ciclo, essi sono in condizione di produrre un mondo non solo più ampio, ma anche, a cagione del numero accresciuto delle combinazioni possibili, anche più perfetto. In tutto l'ambito della conoscenza umana non si riscontra alcuna potenza, all'infuori di quell'urto, che possa ridonare l'attività agli atomi, giunti una volta al riposo. Il procedimento di condensazione che noi vediamo esplicarsi ovunque nei sistemi di mondi di ordine minore deve quindi andare ognor più estendendosi e riunire complessi di mondi sempre più vasti. L'ordine del tutto deve divenire sempre più perfetto e tendere all'unità.

Ovunque nel dominio della natura noi osserviamo questa tendenza ad evoluzioni cicliche, persino nella più stretta cerchia di una determinata sfera d'azione ritmicamente ordinata. Un esame superficiale può ben far credere un giorno eguale all'altro, un estate eguale ai precedenti: in realtà ogni giorno trae vantaggio da quello trascorso. Ogni ragazzo vede in primavera, come la natura che si risveglia divenga, con ogni giorno che fa salire più in alto il Sole, più bella. E se anche più tardi il vento d'autunno restituirà alla Terra i fiori, e l'ornamento delle foglie ed i frutti maturati al calore della state, che da essa s'ebbero vita; essi fertilizzeranno il suolo fecondo, al quale nel prossimo anno l'albero, spingendosi più in alto, attingerà la forza maggiore della quale ora esso ha d'uopo. Elementi della

sostanza terrestre, che finora non furono ancora utilizzati alla costituzione di esseri organizzati, si vennero frattanto foggiando in più delicata costituzione, quale quella che solo conosce la chimica organica. Quanto più spesso questi materiali da costruzione vengono impiegati, e tanto meglio si adattano al còmpito loro assegnato, e creature tanto più perfette potranno essi concorrere a formare. Dalla primitiva roccia granitica, che formò le prime isole nel mare che originariamente avvolgeva la Terra intiera, non avrebbe potuto emergere il seme di una pianta elevata, ad esempio di un albero a foglie, neppure quando le altre condizioni a ciò necessarie si fossero verificate. Anche oggidì su quelle roccie si trovano soltanto specie primitive di muschi e di licheni, o tutt'al più vi s'attaccano le conifere che di nulla abbisognano, e che sono la prima specie di piante che abbiano dominato nei paesaggi dei primissimi tempi. Se oggi si percorre una catena di montagne di media altezza, nella quale le differenze di elevazione non determinano ancora la ripartizione della vegetazione, si constata ripetutamente, ed è importante, che anche presentemente le famiglie delle piante si raggruppano, all'ingrosso ed in complesso, in guisa che le più antiche crescono sopra un terreno geologicamente più antico del pari; in ogni caso i vegetali a fronda richiedono in ogni circostanza un notevole strato di " humus „, che ad esse può solo venir preparato dalla progredita elaborazione dei sedimenti rocciosi.

Anche i risultati delle indagini geologiche attestano che deve essersi svolta un'evoluzione progressiva del regno organico, che poco per volta conquistò tutta la faccia della Terra, sebbene anche qui il ripetersi delle epoche glaciali abbia prodotto una fluttuazione verso l'alto ed il basso, in un ciclo d'anni di una immane e sconosciuta amplitudine. Il fatto che oggidì gli animali non possono più assimilarsi sostanze inorganiche e giovarsene per la costituzione del loro corpo, ma per il loro nutrimento sono astretti intieramente alle sostanze organiche, che ad essi preparano le piante ricavandole dagli elementi della terra, dimostra che la scala organica si è diretta in quel senso, giacchè essa si è servita per la creazione e la conservazione dei suoi organismi più elevati di raggruppamenti molecolari sempre più delicati.

Anche nelle più elevate manifestazioni della vita, che s'incarnano nella intelligenza umana, si rivela quel ciclo eterno con spire che tendono costantemente all'alto. Ogni singolo individuo deve bensì cader vittima della morte che irremissibilmente tutto distrugge, e tuttavia è così soltanto che si fa luogo alla produzione di maniere di vita tendenti più in alto ancora. I figli si arricchiscono col capitale di cognizioni e di esperienza, ognor crescente, loro tramandato dai padri, e ciò che dell'opera loro può essere utile alle generazioni future, vive ancora dopo la loro morte, ed allarga ed abbellisce il mondo dell'intelligenza, che accanto al mondo della materia è pur ora fiorito sul nostro globo. Non altrimenti che la materia elaborata dagli organismi soltanto rende possibile lo sviluppo di individui più perfetti, il tesoro dei pensieri meditati facilita l'assurgere dell'intelligenza a più alta perfezione. La somma della cultura generale, nella quale ha sua radice l'individuo spirituale, è paragonabile a quello strato di " humus „ fertile, che attraverso alle epoche dell'istoria terrestre, va continuamente allargandosi.

Entro ad ogni singolo mondo, quale questa Terra, allo sviluppo dello spirito come della materia è fissato un limite, dal quale comincia la traiettoria discen-

dente; e per quanto noi oggi possiamo vedere le cose, qui come sopra tutti gli altri corpi celesti, ogni vestigio di vita spirituale dovrà venir estinto, così che il mondo che verrà a prendere immediatamente il posto del nostro, nulla fruirà dei grandi fatti degli eroi dello spirito, dei quali saranno ricche le migliaia d'anni. I filosofi hanno meditato molto sul fine della coscienza. Non possiamo qui ripro-durre quei pensamenti; ma a noi sembra, che ogni organizzazione di mondi che l'abbia utilizzata ad aumentare la conoscenza di sè stessa, e ad ammirare la sua propria bellezza, ha compiuto un destino soddisfacente.

Poichè, come vedemmo, ogni mondo ed ogni sistema di mondi, può essere considerato come individuo e come parte di un altro, così noi possiamo anche para-gonare la vita e la coscienza di un mondo intiero con una singola cellula in un maggiore organismo, la cui coscienza complessiva cresce colla vicenda alternata della nascita e della morte delle sue singole parti. Come i suoi esseri organizzati richiedono, quale base della loro vita, i prodotti che derivarono dalla decompo-sizione dei suoi predecessori, così anche dalla rovina di mondi morenti sorge-ranno sistemi di mondi di organamento tanto più alto quanto più quelli erano già progrediti. Ciò si può dedurre da ciò che colla condensazione della materia cosmica, continuamente progrediente, si vengono formando combinazioni chimiche ognora più complesse. Oggi noi sappiamo già con discreta precisione che i corpi che noi riteniamo quali elementi chimici, non lo sono in realtà, ma sono invece combinazioni sconosciute molto stabili di una sostanza ancora più semplice, che noi non possiamo più separare nell'organizzazione del mondo che ci sta a con-tatto immediato. In mondi sviluppati in più alto grado, combinazioni chimiche a noi note diverranno, sempre in maggior numero, elementi apparenti, e sempre più complesse diverranno le combinazioni che si possono comporre con questo accresciuto numero di elementi. Nel linguaggio delle nostre teorie atomistiche noi diremmo, che i primari, minimi sistemi di mondi delle molecole, divengono sempre più perfettamente e riccamente organizzati. Il punto nel quale ricomincierà il ciclo d'evoluzione di un mondo pur di recente originato, dipenderà dal grado di svi-luppo al quale era giunto il mondo estinto, sull' " humus ", del quale deve fio-rire il nuovo. A dire il vero l'urto inevitabile del quale tenemmo discorso, può scindere tutte le combinazioni da capo, ma, data l'esistenza di materia cosmica già elaborata, sussiste la possibilità, che alcuni gradini vengano saltati, e perciò, in generale, lo sviluppo deve seguire quella via progressiva. Bisogna anche riflet-tere, che di fronte alla necessità del progressivo aumento della massa, che deve formare un nuovo mondo, e dell'azione continuata dell'urto delle sue singole parti, la sua forza viva deve venire man mano esaurendosi, così che gli urti prendono sempre minor energia, ed i percorsi oscillanti degli atomi minor estensione, quindi il distacco delle molecole riesce più difficile, dal che, secondo il nostro modo di vedere, è caratterizzato il grado di più alto sviluppo, col quale incomincia il nuovo mondo.

Così noi siamo giunti alla convinzione, che nel ciclo eterno fra la nascita e la morte, che permane in tutte le organizzazioni del mondo dalle piccole incon-cepibilmente, a quelle grandi pure oltre ogni concepimento, tutto dalla molecola fino ai sistemi di Vie Lattee, sia pure il più piccolo ed insignificante nulla, ogni cosa giova al progresso del tutto. Sottoponiamo pure tutto l'ambito dell'Universo,

per quanto può capire nelle nostre menti finite alle inflessibili deduzioni della logica, tutto quell'ambito immenso sarà pur sempre soltanto una parte dell'Universo infinito, e quando colà fuori, al di là, non vi siano cose che siano contrarie alle proprietà a noi note della materia, così che intorno ad esse non ci sia possibile il pensare, anche colà la continuità dell'ordine deve trovare una selezione ulteriore di ciò che è utile da ciò che è contrario, e la tendenza alla perfezione deve continuare per tutta l'eternità.

Però non vogliamo neppure qui immaginare compiuta l'infinità del divenire. Se la materia si condensa per tutta un'eternità, essa deve per ultimo ammassarsi in corpi celesti di densità massima, che non avranno più alcun movimento l'uno rispetto all'altro, poichè lo spazio cosmico che li separa è perfettamente vuoto, di guisa che essi non esercitano neppure più alcuna mutua azione e sono morti affatto. Allora dominerà in tutto l'Universo la quiete eterna della morte, e non esisterà più alcuna possibilità di risurrezione. Ma che questo stato della così detta entropia, tanto temuta da alcuni pensatori, non accadrà mai in avvenire, è provato da ciò che il presente vivente ed innegabile esiste, intorno al che noi non possiamo per buona ventura cavillare, e che dietro a noi sta un'eternità, non altrimenti che si vuole ne stia una innanzi a noi. Lo stato di quiete assoluta dovrebbe regnare già fin d'ora, ma poichè ciò non è, il movimento, la vita, l'ordine e la bellezza sempre più elevati andranno effondendosi da sistema a sistema, da universo ad universo fino ad un avvenire oltre ogni immaginar lontano.

NOTIZIE
INTORNO AD ALCUNI DEI PRINCIPALI OSSERVATORI ASTRONOMICI ITALIANI

IL REALE OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI BRERA IN MILANO

Le origini dell'Osservatorio astronomico di Milano risalgono all'anno 1760, l'attività regolare data dal 1° gennaio del 1763, e si può affermare che da 27 lustri esso tiene fra le specole italiane e straniere un posto onoratissimo.

Fondatori ne furono i PP. Gesuiti, i quali padroni verso la metà del secolo scorso di tutto il vasto insieme di edifici a cui in Milano si suol dare il nome di *Palazzo di Brera*, vi tenevano, oltre al loro cenobio, un Collegio floridissimo destinato agli studi superiori di Filosofia e di Teologia, dotato delle prerogative tutte di una Università.

Nel Collegio, a quel tempo molto frequentato, l'Insegnamento della Filosofia abbracciava, così come oggi nelle Università germaniche, anche gli studi di Matematica e di Fisica, e furono appunto due Lettori di Filosofia del Collegio, i PP. Pasquale Bovio e Domenico Gerra, che cominciarono nel 1760 a studiare in Brera gli astri ed i movimenti celesti. Essi erano però più dilettanti che astronomi veri, e nel 1762 fu quindi dal Rettore del Collegio chiamato a Milano il P. Luigi La Grange, Gesuita egli pure, da parecchi anni cooperatore lodato del P. Pezenas nella specola di Marsiglia, ed a lui nel 1764 si aggiunse ancora il celebre P. Gesuita Giuseppe Ruggero Boscovich, professore di Matematiche nell'Università di Pavia.

La Grange e Boscovich furono i veri organizzatori dell'Osservatorio di Brera. Boscovich sopratutto, uomo di grandissimo ingegno, matematico, astronomo, ingegnere peritissimo. Fu Boscovich che scelse a sede del nuovo Osservatorio l'angolo sud-est del vastissimo Collegio di Brera, come luogo più conveniente allo scopo e più lontano dalle strade che circondano Brera dai lati di ponente e di settentrione. Fu Boscovich che studiò in tutti i suoi particolari il piano del nuovo Osservatorio, che determinò la distribuzione e la forma degli archi, delle volte, delle legature di ferro e di legno che si dovevano imporre al saldo edifizio già esistente, perchè gli strumenti potessero essere collocati in modo abbastanza sta-

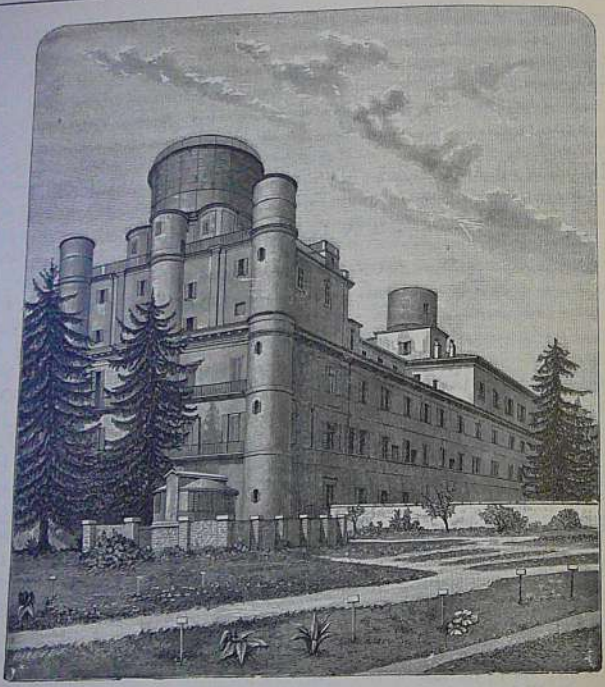


Fig. 289. — Osservatorio di Brera in Milano.

bile secondo le idee di quel tempo. Fu sui piani di Boscovich, approvati e lodati dal Governatore della Lombardia e dal conte di Firmian, che si diede mano ai lavori; e questi, condotti con grande energia ed a spese del Collegio, già entro l'estate del 1765 erano portati a compimento.

Consistevano essi principalmente di una grande sala per i quadranti murali ed altri strumenti meridiani, di un'altra grande e bella sala ottagona per gli strumenti minori e per le osservazioni di vario genere, dotata di ampie finestre, di terrazze laterali, e di due cupolette mobili destinate l'una ad un sestante, l'altra ad un piccolo equatoriale.

Di queste costruzioni diverse, che nel loro insieme furono in quel tempo assai lodate, e che rassomigliavano alquanto a quelle dell'antico Osservatorio di Greenwich, sopravvivono solo la grande sala per i quadranti e le terrazze laterali; la sala ottagona e le cupolette mobili furono abbattute fra il 1878 ed il 1886, ed al posto loro fu costrutta una grande torre cilindrica di 12 metri di diametro, la maggiore delle attuali torri dell'Osservatorio.

Boscovich, uomo ardente, ricco di idee e di iniziative, non fu però abbastanza lealmente e vigorosamente sostenuto dai colleghi dell'Ordine; fra lui e La Grange, verso il quale i Gesuiti del Collegio di più inclinavano, nacque una serie di conflitti spiacevoli, sicchè Boscovich irritato se ne partì nel 1772 per Parigi, d'onde ritornò a Milano solo nel 1785 per morirvi nel 1787. Partito nel 1772 il P. Boscovich, l'Osservatorio di Brera, essendosi pubblicata nell'estate del 1773 la Bolla di soppressione dell'Ordine gesuitico, divenne d'un tratto proprietà dello Stato, rimanendone però ancora Direttore il P. La Grange ed essendovi astronomi il P. Francesco Reggio, il P. Angelo Cesaris, il sacerdote Barnaba Oriani. Molto non durò il La Grange nella direzione divenuta ufficiale dell'Osservatorio; se ne ritrasse egli nell'anno 1777, riducendosi a Macon, patria sua, dove morì nel 1783.

Ritiratosi La Grange, la Direzione dell'Osservatorio di Brera passò nelle mani dei tre amici e colleghi Reggio, Cesaris, Oriani, fra i quali, mirabile esempio, praticamente più non rimase alcun indizio di differenza di grado. Uniti dai nobilissimi intenti loro, con indefesso lavoro, con ingegno vario essi portarono l'Osservatorio di Brera a quell'alto grado di celebrità di cui godette poi per molti anni.

Questo periodo glorioso che prende il nome dagli astronomi Reggio, Cesaris ed Oriani, da Oriani sopratutto, il più celebre dei tre, finì nell'anno 1832. Nell'anno 1833 assunse la direzione dell'Osservatorio di Brera e la tenne fino al 1862 Francesco Carlini, il quale già nel 1799 apparteneva all'Osservatorio come alunno, e il quale fu astronomo di larga riputazione e di indiscusso valore.

Dal 1862 dirige l'Osservatorio di Brera con grande successo e con plauso invidiato Giovanni Schiaparelli, il quale fece a Torino gli studi matematici, a Berlino e a Pulkova presso Pietroburgo gli studi astronomici, ritornò in patria nel luglio del 1860, ed è oggi astronomo e scienziato fra i più illustri.

L'Osservatorio astronomico di Milano va insigne non solo per le scoperte in esso fatte, pei lavori di lunga lena astronomici, geodesici, meteorologici in esso eseguiti, per le sue Effemeridi astronomiche durate un secolo, pel valore de' suoi Direttori e degli astronomi che ad esso successivamente ed ufficialmente appartennero, ma ancora per questo che in esso uomini, divenuti in seguito illustri, vennero in diversi tempi ad iniziarsi agli studi e alle pratiche astronomiche.

Tra questi vale la pena di ricordare Carlo Brioschi, il quale fondò poi e primo diresse l'Osservatorio astronomico di Capodimonte a Napoli; Giovanni Santini, che tenne poi per lunghi anni e con grandissimo onore la direzione dell'Osservatorio astronomico di Padova; il Padre Inghirami, che fu poi astronomo dell'Osservatorio Ximeniano a Firenze, e autore principale della triangolazione e della carta della Toscana; Giovanni Plana, il quale illustrò poi col genio suo l'Università e la Specola di Torino; Ottaviano Fabrizio Mossotti, che, sospettato dall'Austria di cospirazione, dovette nel 1823 fuggire all'estero per evitare lo Spielberg, e che come professore di Matematiche a Buenos Aires e da ultimo di Fisica matematica in Pisa acquistò grande celebrità; Giuseppe Bianchi, il quale fu poi fondatore e direttore dell'Osservatorio astronomico di Modena; Lorenzo Respighi, che si affermò astronomo valentissimo nelle Specole dell'Università di Bologna e del Campidoglio di Roma.

O io mi inganno, ma a questo punto il cortese lettore deve sentir curiosità di un poco conoscere gli edifizi sotto ai quali tanti e sì insigni uomini passarono

con vicenda diversa anni operosissimi, sostennero veglie placide e feconde. A soddisfare tale curiosità tendono appunto i nostri disegni.

Uno di essi rappresenta appunto il palazzo di Brera e la Torre maggiore dell'Osservatorio quale essa fu terminata nell'anno 1886; la parte di palazzo disegnata è l'angolo sud-est scelto nel 1764 dal Boscovich a base della Specola; vi si vedono ai lati due torri minori destinate a strumenti di piccole dimensioni, nel mezzo la grande Torre che termina in un alto tamburo cilindrico, del quale il diametro esterno misura dodici metri, l'interno undici. È questa la torre, sede dello strumento principe dell'Osservatorio, strumento sul quale ritorneremo. Fra la grande Torre e le due minori laterali corrono due ampie terrazze rettangolari, l'una a destra di chi guarda e rivolta ad est, l'altra a sinistra e vôlta col suo lato maggiore ad ovest. Sono le due terrazze ideate già da Boscovich, e ad esse gli astronomi accedono di notte per gettare uno sguardo complessivo al Cielo stellato, del quale, stando sotto alle cupole, essi vedono solo breve tratto.

Fig. 290. — Quadrante murale di Ramsden.

Sotto alla terrazza collocata ad est della Torre maggiore sta la grande sala ideata da Boscovich per quadranti e strumenti meridiani, la sola fra le costruzioni originarie dell'Osservatorio che oggi ancora tal quale esista. V'è in essa attaccato al muro orientale e rivolto a nord il Quadrante murale di sei piedi di raggio, ordinato nel 1766 al meccanico Canivet di Parigi e collocato in posto nel 1769. V'è nel mezzo lo strumento dei passaggi del celebre artefice Reichenbach, surrogato nel 1810 ad altro più piccolo costrutto molti anni prima da Megele, meccanico dell'Osservatorio. V'è infine sospeso al muro occidentale e rivolto a mezzodì il Quadrante murale di Ramsden di otto piedi di raggio ordinato a Londra nel 1786, terminato nel 1789, posto in luogo nel 1791. Questo strumento, che ora più non si usa, è riprodotto in uno dei disegni nostri, e fu per lungo tempo uno dei principali dell'Osservatorio. Per esso e per conferire col celebre artefice suo Ramsden l'illustre Oriani si recò in Inghilterra passando per la Svizzera, per Colonia, per l'Olanda, ritornandone per Parigi, e profittando dovunque delle conversazioni dei più famosi scienziati di quel tempo.

Nel 1825 fu ordinato al meccanico Starke presso l'Istituto politecnico di Vienna un Circolo meridiano, che per vicende diverse fu messo a posto solo nel 1834. Questo strumento fu sempre assai mediocre e inopportunamente collocato, senza colpa degli astronomi, nella Torre meridiana; uno dei nostri disegni lo riproduce così come oggi esso è dopo le modificazioni ad esso ed alla Sala meridiana apportate dal professore Schiaparelli. Ad esso lavorarono con intensa operosità Carlo Kreil, Roberto Stambuchi, Giovanni Battista Capelli; gli astronomi attuali l'impiegarono alla formazione di un Catalogo di stelle pel quale fecero 8000 osser-

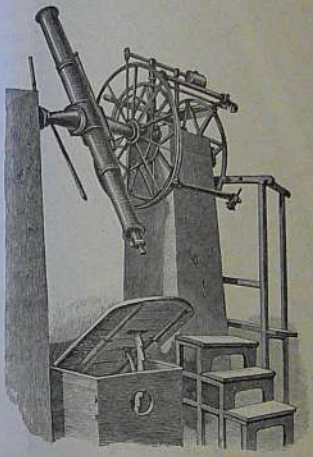


Fig. 291. — Cerchio meridiano di Starke.

Fig. 292. — Refrattore equatoriale di 8 pollici.

vazioni, e allo studio dei movimenti propri di alcune stelle pel quale il numero delle osservazioni fatte non è di molto minore.

Nel 1862 per uffici di Carlo Matteucci e di Francesco Brioschi, Ministro l'uno, Segretario generale l'altro della Pubblica Istruzione, il Governo italiano concesse alla Specola di Milano l'acquisto di un Refrattore equatoriale di otto pollici, venti centimetri circa di apertura. Ne fu affidata la costruzione al celebre ottico e meccanico Merz di Monaco, e la collocazione sua fu parecchi anni differita per la difficoltà di trovare un luogo a tal fine adattato. Finalmente fu deciso di sacrificare una voluminosa macchina di legno che alcuni decenni prima era stata su disegno di Paolo Frisiani stabilita nella Torre di nord-est, come montatura altazimutale per un telescopio a riflessione di Amici. Sgombrata la Torre, fu adattata nel 1874 al nuovo Refrattore, e questo ancora nel medesimo anno fu collocato al suo posto da Kohlschitter, allora meccanico dell'Osservatorio.

Le osservazioni a questo strumento cominciarono nel febbraio dal 1875 e continuano tutt'ora. Con esso si osservarono numerose comete, si misurarono e si misurano importanti stelle doppie con felicissimo esito; uno dei nostri disegni lo riproduce distintamente nel suo insieme. È uno strumento di rara perfezione nella parte ottica, e fra gli astronomi contemporanei gode di somma riputazione, avendo con esso lo Schiaparelli fatti fra il 1875 e il 1886 i suoi rinomati lavori sulla topografia del pianeta Marte, scoperti i canali di Marte, e le geminazioni loro.

Nel luglio del 1878, essendo Ministro della Pubblica Istruzione Francesco De Sanctis e Relatore del progetto alla Camera dei deputati Quintino Sella, il Re

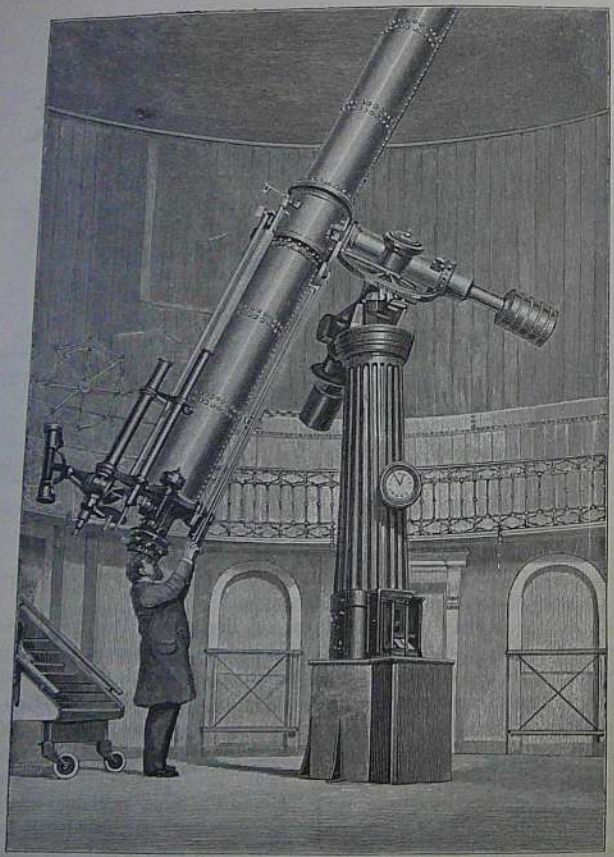


Fig. 293. — Il grande Refrattore.

ed il Parlamento decretarono che in Brera si erigesse uno dei più grandi strumenti equatoriali del mondo, e stabilirono a tale intento una somma di L. 250.000. Lo strumento fu eseguito nella sua parte ottica dal celebre Merz di Monaco, nella sua parte meccanica dalla non meno celebre officina dei Repsold di Amburgo: il prezzo del suo obbiettivo fu di 37.500 lire, quello della parte metallica salì a lire 70.625; un'ingente somma fu spesa a costruire fra il 1880 e il 1886, come già dissi, la grande Torre destinata ad ospitarlo. È, come si vede dai nostri disegni, una grande torre cilindrica di 12 metri di diametro esterno, di 11 metri di dia-

metro interno, coperta da una grande cupola mobile a forma di tamburo di ugual diametro. Il peso di questa cupola mobile è di circa 400 quintali, e, ciò malgrado, la si muove con uno sforzo di soli cinque chilogrammi. Ne va lode a chi diresse il suo impianto e inoltre alla Ditta Suffert che la eseguì, adottando per essa il sistema di posa e di trasmissione del movimento ideato da Grubb per la grande cupola del Refrattore equatoriale di Vienna.

Nel maggio del 1886 lo strumento principe dell'Osservatorio di Brera, col suo cannocchiale di 487 millimetri di apertura e di metri 6,95 di distanza focale, fu pronto per le osservazioni. Ad esso da quell'epoca lavora indefesso il direttore dell'Osservatorio professor Schiaparelli. Uno dei nostri disegni dà insieme riuniti il ritratto dell'illustre astronomo e la veduta complessiva del grande strumento; a questo sta appunto osservando lo scrutatore dei pianeti Marte, Venere, Mercurio, lo scopritore della teoria cosmica delle stelle cadenti.

(Vedi *Illustrazione Italiana*, 20 febbraio 1898).

G. Celoria.

Latitudine	45° 27′ 59″,2
Longitudine rispetto a Greenwich, Est	36m 45s,91
Altezza sul mare	147m
Pressione media annua (ridotta a 0° centigradi)	748mm,1
Temperatura (id.)	+ 12°,24
Tensione del vapore acqueo, media normale annua	8mm,47
Umidità relativa, media normale annua	74 %
Pioggia, media annua	998mm
Valore della gravità	9m,80488

Elementi magnetici a Milano secondo Carlini.

Declinazione: $\delta = 13° 31' - 6',727\,t - 0',004\,t^2$, dove t è il numero degli anni trascorsi a partire dal 1880,0.

Inclinazione: $\theta = 62° 11' - 1',332\,t + 0',0224\,t^2$, dove t ha lo stesso significato.

Componente orizzontale all'epoca 1883,6 (unità C. G. S.) . . . 0,2118

OSSERVATORIO ASTRONOMICO DELLA R. UNIVERSITÀ DI PADOVA

Latitudine	45° 24′ 1″,0
Longitudine Ovest da Roma	2mi 27s,18
" Est da Greenwich	47 29 ,18
" Est da Parigi	38 8 ,28

Altezza sul mare del pozzetto del barometro di osservazione = m. 31,3: del suolo su cui sorge l'Osservatorio = m. 14.

Elementi del magnetismo terrestre per il 1900,0:

Declinazione magnetica occidentale	10° 17′
Inclinazione	61 20
Componente orizzontale (C. G. S.)	0.2181
Forza totale	0.4547

Temperatura media nel trentennio 1868-1897: + 12° 8 C. — Dal 1868 in poi: temperatura massima = + 36°,7 C. il 19 luglio 1871: temperatura minima = — 13°,7 C. il 15 gennaio 1874.

Altezza barometrica media ridotta a zero ed al livello del mare nel ventennio 1868-1887 = 761mm,83 (dalle osservazioni quotidiane delle ore 9, 15 e 21).
Altezza barometrica massima osservata in questo secolo, ridotta a zero ed al livello del mare = 786mm,0 il 6 febbraio 1821: altezza minima = 733mm,7 il 23 febbraio 1879.

Quantità media dell'acqua caduta dal cielo in un anno del periodo 1725-1893 = 856 mm.: numero medio annuale dei giorni con pioggia e neve = 99.
Massima quantità d'acqua in un anno = 1561 mm. in 136 giorni nel 1772: — minima = 452 mm. in 66 giorni nel 1822.

Nel periodo 1868-1892: N° annuale medio dei giorni sereni = 127; dei giorni nuvolosi = 128; dei giorni misti = 110.

Accelerazione della gravità ridotta al mare = 9m,80681.

Gli strumenti principali in uso nell'Osservatorio sono:

Un equatoriale di Merz avente l'obbiettivo del diametro di 186 mm. e della lunghezza focale di m. 3,20. Appartenne al Dembowski che lo adoperò nelle sue celebri misure di stelle doppie. È descritto nel vol. LXII delle *Astronomische Nachrichten* e fu nel 1882 acquistato dal Governo per l'Osservatorio di Padova;

Un equatoriale di Starke-Merz con obbiettivo di 117 mm. di diametro e m. 1,65 di distanza focale;

Un refrattore altazimutale di Starke. Obbiettivo: diam. 117 m., distanza focale m. 1.95.

Un cerchio meridiano di Starke. Diametro del cerchio = 1 m.; due microscopi micrometrici lettori sul diametro orizzontale. Diametro dell'obbiettivo = 109 mm.; dist. focale = m. 1,64. È descritto e figurato nel vol. V dei *Nuovi Saggi dell'Accademia di Padova*;

Alcuni pendoli a compensazione e *due cronografi*.

Strumenti meteorologici, alcuni dei quali autoregistratori.

Il *quadrante murale* di Ramsden, l'*equatoriale* di Utzschneider, il piccolo *cerchio moltiplicatore* di Reichenbach, il *teodolite* di Stefani ed altri piccoli strumenti figurati in parte e descritti negli *Elementi di astronomia* (Padova 1830) e nella *Teorica degli strumenti ottici* (Padova 1828) del Santini sono fuori di uso e si conservano come ricordi storici.

Qualche altro strumento in uso all'Osservatorio di Padova appartiene alla R. Commissione Geodetica Italiana.

L'Osservatorio è dotato di una buona biblioteca speciale di cinque mila circa fra volumi ed opuscoli, costituita: 1° di opere astronomiche acquistate, a poche per volta fino dai primordi dell'Osservatorio, con parte della dotazione annuale; 2° della biblioteca astronomica e matematica del Santini, da lui vivente donata all'Osservatorio; 3° delle pubblicazioni inviate in dono da Osservatori e da Astronomi di ogni parte del mondo; 4° delle pubblicazioni dell'Associazione Geodetica Internazionale.

Personale al principio del 1899:

Lorenzoni Giuseppe, professore di Astronomia all'Università e *Direttore* dell'Osservatorio;

Ciscato Giuseppe, dottore in matematiche pure, *Astronomo aggiunto;*

Antoniazzi Anton-Maria, dottore in matematiche pure, *Astronomo assistente.*

L'Osservatorio di Padova (eretto dal 1767 al 1777 per decreto del Senato Veneto) ebbe il suo primo assetto verso la fine del 1779 con il collocamento del grande Quadrante murale di Ramsden e con la nomina di un astronomo aggiunto nella persona dell'abate Vincenzo Chiminello (n. 1741, m. 1815), poichè le funzioni di primo astronomo o di astronomo direttore spettavano al professore di astronomia nell'Università, che allora era l'abate Giuseppe Toaldo (n. 1719, m. 1797), sotto la direzione del quale l'Osservatorio era stato costruito. Osservazioni astronomiche eransi però dal Toaldo e dal Chiminello già iniziate nel nuovo Osservatorio, fino dal 1776, quando questo non era ancora terminato.

Nel 1797, al Toaldo, successe nella direzione dell'Osservatorio e nella cattedra il Chiminello, ed a questo nel gennaio 1813 subentrò il Santini (n. 1787, m. 1877). Dal 1877 in poi sostiene l'una e l'altra carica il direttore attuale. Nel 1854 il personale dell'Osservatorio fu accresciuto di un assistente provvisorio; nel 1863 sostituito con un assistente stabile.

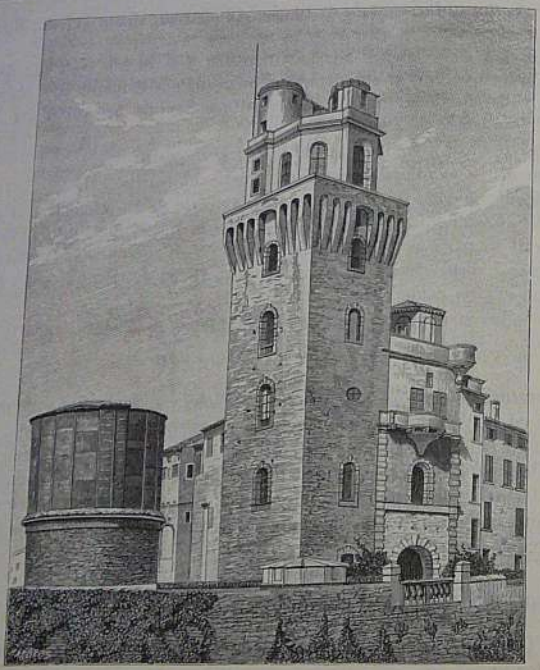


Fig. 294. — Osservatorio dell'Università di Padova.

Nell'Osservatorio di Padova, oltre alle osservazioni correnti per la determinazione dello stato e dell'andamento dei pendoli (la quale determinazione interessa anche altre pubbliche istituzioni), si fanno principalmente osservazioni extra-meridiane per determinare le posizioni dei pianeti nuovi e delle comete e osservazioni occasionali di occultazioni, di eclissi, ecc. Si fecero in passato molte osservazioni meridiane di stelle in zona e recentemente si usò il cerchio meridiano per una serie di osservazioni del cratere lunare Moesting. In vari tempi si eseguirono misure di latitudine, di longitudine, di azimut e di gravità in servizio della geodesia e, fino dall'origine dell'Osservatorio, si fanno in esso pur anco osservazioni meteorologiche quotidiane.

Annessa all'Osservatorio è la Scuola di Astronomia per gli studenti della Facoltà di Scienze dell'Università.

I risultati delle osservazioni e degli studi fatti all'Osservatorio di Padova, sono pubblicati negli Atti e nelle Memorie di varie Accademie e Società scientifiche e nelle *Astronomische Nachrichten*. — Fra le pubblicazioni sono notevoli i cinque *Cataloghi stellari* fondati sulle osservazioni meridiane del Santini e su quelle

della R. Università di Padova.

ancora più numerose e precise del *Tretteniro* (n. 1821, m. 1863). — Alcuni lavori (1) sono stati eseguiti e pubblicati in tutto od in parte a spese della Commissione Geodetica Italiana.

La somma annuale che il Governo mette a disposizione dell'Osservatorio è di lire 1800. Con essa si provvede alla manutenzione degli strumenti e dei mobili e a comperarne di nuovi (necessariamente entro limiti molto ristretti); si pagano le spese di cancelleria, di posta, di telegrafo, di trasporti, di facchinaggi, d'illuminazione e di riscaldamento; si paga l'affitto del terreno sul quale è costruita la cupola dell'equatoriale Dembowski: e si provvede all'incremento ed alla conservazione della biblioteca.

C. Lorenzoni.

(1) Fra essi sono notevoli per importanza quelli sul pendolo del chiar.mo prof. Lorenzoni.

(O. Z. R.).

OSSERVATORIO ASTRONOMICO DELLA R. UNIVERSITÀ DI TORINO

Latitudine boreale al punto trigonometrico (Cupolino Ovest) .	45° 4′ 8″,0
Differenza di longitudine tra il punto trigonometrico a Torino ed a Milano (determinata telegraficamente)	5m 58s,76
Longitudine all'Ovest di Roma (Collegio Romano)	19 8 ,31
" all'Est di Parigi	21 26 ,19
" " di Greenwich	30 47 ,20
" all'Ovest di Berlino	22 47 ,68
Altitudine sul livello del mare: al pozzetto del barometro . .	276m
" " " alla soglia del Palazzo Madama .	238m
Differenza tra il tempo medio di Torino e quello dell'Europa centrale	29m 12s,76
Accelerazione della gravità, a 233m di altitudine (sotterranei del Palazzo Madama)	9m 80570
Temperatura media annuale	+ 11°,72
" " di gennaio	+ 0 ,44
" " di luglio	+ 22 ,63
Media pressione atmosferica	737mm,09
Umidità assoluta	8 ,09
" relativa	71,35 %
Media dei giorni di pioggia o neve nell'anno	106
Altezza normale della pioggia nell'anno	835mm,7

Gli strumenti principali appartenenti all'Osservatorio di Torino sono:

Un equatoriale di Merz, dell'apertura libera di 30 centimetri e della distanza focale di metri 4,45, con montatura di Cavignato (acquistato nel 1884).

Un equatoriale cercatore di Steinheil, dell'apertura di sei pollici e della distanza focale di 1m,30 (acquistato nel 1892).

Un circolo meridiano di Reichenbach (acquistato nel 1820).

Uno strumento trasportabile dei passaggi, di Repsold (acquistato nel 1889).

Vari cannocchiali minori, di Fraunhofer, Dollond, Salmojraghi, Zeiss

Un pendolo siderale Dent, a compensazione.

Un pendolo a tempo medio Martin, a compensazione.

Un pendolo siderale Milani, a compensazione..

Cronometri di marina (Nardin, Howu, Kohlschitter).

Strumenti meteorologici e registratori.

Cronografo Hipp.

Sismometrografo Agamennone.

Due piccoli sismografi (Brassart, Agamennone).

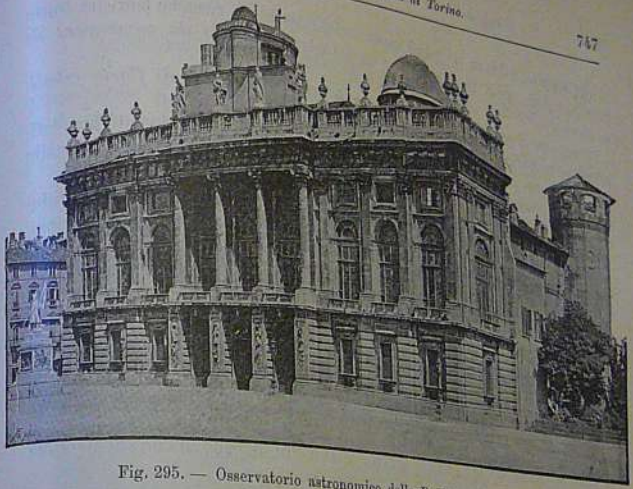


Fig. 295. — Osservatorio astronomico della R. Università di Torino nel Palazzo Madama — Piazza Castello.

La Biblioteca dell'Osservatorio si compone di circa 6000 tra volumi ed opuscoli, in parte acquistati ed in parte offerti in dono da altri Osservatori e da Istituti scientifici italiani e stranieri.

Alla fine del 1899 il personale si compone dei Signori:

Porro dottore Francesco, professore di Astronomia all'Università, *Direttore*.
Balbi dottore Vittorio, *Astronomo aggiunto*.
Bemporad dottore Azeglio e Garba ingegnere Luigi, *Assistenti*.
Carnera dottore Luigi, *Assistente volontario*.

Direttori dell'Osservatorio tra il 1760 circa e il 1900:

Beccaria Giovanni Battista (n. 1716, m. 1781).
Valperga Caluso Tommaso (n. 1737, m. 1815).
Vassalli Eandi Antonio Maria (n. 1761, m. 1825).
Plana Giovanni (n. 1781, m. 1864).
Dorna Alessandro (n. 1824, m. 1886).
Porro Francesco (n. 1861).

Nel secolo XVIII l'Osservatorio ha eseguito la misura dell'arco di meridiano tra Mondovì ed Andrate, pubblicandone i risultati nell'opera del Padre Beccaria, intitolata: *Gradus Taurinensis*.

Tra il 1823 ed il 1827 partecipò attivamente alle operazioni geodetiche ed astronomiche per la misura di un arco di parallelo medio.

In seguito il Plana si dedicò quasi esclusivamente a ricerche teoriche, frutto precipuo delle quali fu (1852) l'opera intitolata: *Théorie du mouvement de la Lune.*

Opera principale del direttore Dorna è stato un *Atlante di Carte celesti*, inteso principalmente a facilitare le osservazioni di stelle cadenti.

Nell'ultimo periodo si sono eseguite determinazioni nuove di longitudine, latitudine ed azimut, e si fecero osservazioni varie di comete, di eclissi e di stelle variabili.

Presentemente il lavoro principale dell'Osservatorio consiste nella nuova riduzione delle osservazioni del Piazzi a Palermo (1792-1814), per la compilazione di un terzo Catalogo di stelle fisse.

Numerose contribuzioni diede pure l'Osservatorio alla Meteorologia ed alla Climatologia.

La dotazione annua dell'Osservatorio è di L. 3600, gravata di molti carichi dipendenti dalle condizioni particolari dell'antico palazzo in cui risiede. Il Consorzio Universitario largisce pure una somma di 1000 lire annue, che si spende per l'acquisto di strumenti. Un fondo di 25.000 lire è stato stabilito con la convenzione universitaria del 1896, e servirà a costruire una succursale sulla collina di Pino Torinese.

F. Porro.

OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI ARCETRI-FIRENZE

appartenente al R. Istituto di Studi superiori pratici e di perfezionamento di Firenze (vedi " Annuari " dell'Istituto medesimo).

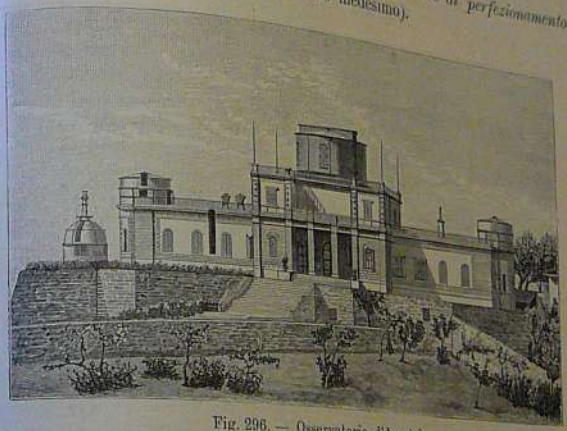


Fig. 296. — Osservatorio d'Arcetri.

Latitudine = 43° 45′ 13″,75 (Pubblicazioni dall'*Osservatorio*, fasc. n° 7).
Longitudine all'Ovest di Roma = 0h 4m 55s,03
" all'Est di Greenwich = 0 45 1 ,34
" " di Parigi = 0 25 40 ,37
" all'Ovest di Berlino = 0 8 33 ,51
(*Astr. Nachr.*, n° 3202).
Altezza sul mare metri 184,47 (*Istituto Geografico Militare* - Firenze).

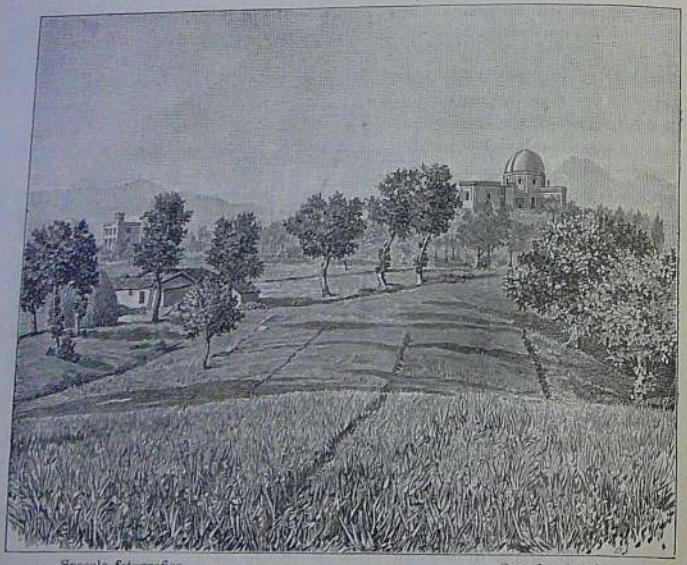
Declinazione magnetica: $D_{1885,3} - 7' \, t = 11° 46' W - 7' \, t$ (*Sulla variazione secolare degli elementi del magnetismo terrestre a Firenze*, nota del Dott. Cino Chistoni, Roma 1886).

Valore della gravità = 9m 80 512 (G. Ciscato, *Determinazione della gravità relativa Padova-Arcetri fatta con un pendolo filare*, in *Atti del R. Istituto Veneto*, Venezia, 1899).

3 Dicembre 1899. Prof. Antonio Abetti.

OSSERVATORIO PRIVATO DI COLLURANIA PRESSO TERAMO

Proprietà del Dott. V. CERULLI



Specola fotografica. Specola visuale.

Fig. 297. — Osservatorio di Collurania, 1899.

Latitudine boreale 42° 39′ 27″, determinata nell'autunno 1893, ed è media di 10 valori ben concordanti ottenuti col processo di Talcott. Nel 1899 il professore Boccardi ha studiato la latitudine di Collurania al zenith-telescopio confermando pienamente questo valore come *massimo d'autunno*. I decimi di secondo saranno aggiunti quando saranno finiti i calcoli ora in corso di esecuzione.

Longitudine da Berlino 1ᵐ 21ˢ Est, determinata nel 1894 col metodo delle culminazioni lunari, in corrispondenza con Roma (Collegio Romano).

Altezza sul mare metri 400 (approssimata).

Gli strumenti attuali sono:

Telescopio refrattore di Cooke and Sons (York Inghilterra). Apertura libera centimetri 39,4. Distanza focale = metri 5,91 (15 volte l'apertura libera = 6ᵐ,72). Lunghezza totale del tubo, compresa la parte di là dall'obbiettivo

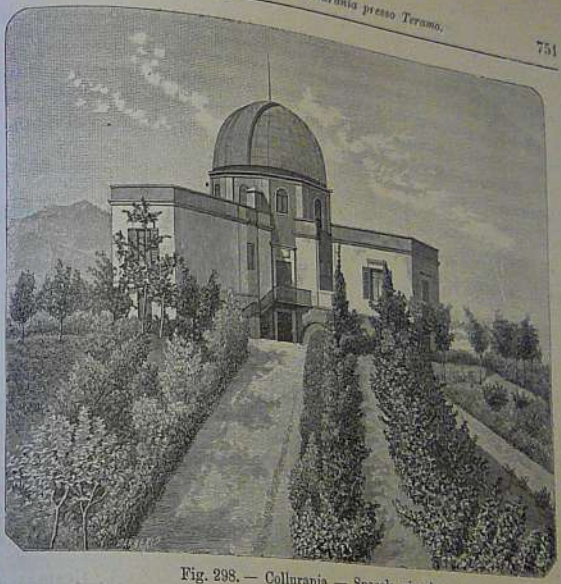


Fig. 298. — Collurania — Specola visuale.

Appartengono a quest'istrumento: un micrometro bifilare di Grubb con illuminazione elettrica dei fili in campo scuro; uno spettroscopio a cinque prismi, grande modello, di Browning; una serie di oculari negativi dall'amplificazione di 80 diametri a quella di 1500; una camera fotografica per fotografie lunari.

Il refrattore è eretto su un pilastro isolato dal resto della muratura e fondato a parte. La camera dell'istrumento è circolare (metri 8,64 diam. interno) e sormontata da una cupola girevole di Cooke. L'armatura della cupola è in ferro, la copertura in carta pesta (sistema adottato anche dall'Osservatorio di Greenwich). Lo sportello della cupola abbraccia più di uno spicchio sferico, in modo che il telescopio può essere puntato anche al zenith.

Telescopio zenitale di Troughton e Simms di Londra. Grande modello. Apertura libera = millimetri 75; distanza focale = millim. 772. L'istrumento porta un circolo azimutale finamente diviso, letto da 2 microscopi diametralmente opposti. Diametro del circolo diviso = millim. 284.

Regolatore Riefler, battente il secondo siderale; scappamento, sospensione del pendolo, e compensazione in mercurio, tutto secondo il sistema Riefler. Registrazione elettrica dei secondi al cronografo.

Pendolo Kittel che batte i mezzi secondi, ed è anche munito di contatto elettrico.

Cronografo a striscia di Fuess.

Cronometro di marina Barraud. Segna il tempo medio e batte i mezzi secondi

Entro la primavera del 1900 sarà montato nel nuovo fabbricato chiamato " la Specoletta ", adiacente alla Specola principale:

Euriscopio di Cooke: camera fotografica con lente obbiettiva di centim. 16, distanza focale = 1 metro.

Come telescopio direttore dell'Euriscopio funzionerà provvisoriamente il

Cercatore di comete di Salmoiraghi, apertura libera centimetri 15, distanza focale = metri 1,80.

I lavori fatti fin qui all'Osservatorio sono:

Posizione di comete e pianeti (*Astron. Nachrichten*).
Posizione di satelliti (non ancora pubblicate).
Misure di stelle doppie (" ").
Determinazione di latitudine (" ").
Osservazioni fisiche di Venere (*Astron. Nachrichten*).
Osservazioni fisiche di Marte (Pubblicazione n° 1 di Collurania).
Calcoli di orbite (pubblicati in parte nelle *Astron. Nachrichten*).

L'Osservatorio di Collurania funziona dall'autunno 1893.

V. Cerulli.

SPECOLA VATICANA — VATICANO — ROMA

Latitudine: Torre Gregoriana	41° 54' 16",7
„ Torre Leonina	41 51 04 ,8
Longitudine in tempo da Parigi: Torre Gregoriana	0m 40s 28s,51 E.
„ „ „ Torre Leonina	0 40 26 81 E.
„ „ da Greenwich: Torre Gregoriana	0 49 49 47
Altezza sul mare: Torre Gregoriana	0 49 47 77
„ „ Torre Leonina	metri 75
Elementi del magnetismo terrestre:	„ 100

Nel volume IV delle *Pubblicazioni della Specula Vaticana*, pag. 174, si trova pel 1891:

Declinazione media	10° 45' 18"
Inclinazione media	58 4, 6
Componente orizzontale (C. G. S.)	0.23235

La declinazione va diminuendo di circa 5' per ciascun anno.
L'inclinazione 1' per anno.
La componente va aumentando circa 0,0002 ogni anno.

Principali istrumenti per la Meteorologia.

La Collezione completa degli istrumenti registratori di Richard.
Un' altra collezione di osservazione diretta — Barometri, termometri, ecc.

Per l'Astronomia.

Nella Torre Gregoriana.

Equatoriale di Merz, Obbiettivo	mm. 102
Cannocchiale di Merz, „	„ 106
Meridiano Starcke „	„ 80

Altri cannocchiali piccoli.
Diversi cronometri in numero di sei.
Istrumento Gautier per le misure delle lastre fotografiche.
Un eliografo per la fotografia solare.

Nella Torre Leonina:

Cannocchiale fotografico per la Carta del Cielo e Catalogo delle stelle.
Parecchi istrumenti geodinamici.

Personale.

Padre Angelo Rodriguez, Agostiniano, *Direttore*
Padre Giuseppe Lais, Oratoriano, *Vice-Direttore.*
Mons. Giuseppe Butti, professore di Fisica nell'Università Pontificia, incaricato della sezione meteorologica, *Assistente.*
Ingegnere Federico Mammuci, incaricato insieme col Vice-Direttore della parte fotografica della Carta celeste.
Moretti, *Bibliotecario.*
Giulio Lais, incaricato delle misure delle lastre fotografiche.
Bevitori, incaricato del Registro-diario delle osservazioni meteorologiche.

La Specola fu fondata dal Santo P. Leone XIII nel 1879: meglio si direbbe ristaurata, perchè la fondazione data dal secolo XVI.

Il lavoro principale della Specola Vaticana è la *Carta del Cielo e Catalogo delle Stelle*, in collaborazione con altri diciassette Osservatori.

R. OSSERVATORIO DI CAPODIMONTE

Indirizzo	Napoli
Latitudine Nord	40° 51' 46",3
Longitudine Est da Greenwich	0° 57m 1s,72
Altitudine sul mare	metri 154
Declinazione magnetica al 1897, Ovest	9° 26'
Inclinazione " " Nord	56° 31'
Forza " " Componente orizzontale	cgs. 0,2408
Accelerazione della gravità (calcolata)	metri 9,8013
Temperatura annuale . . . media 16°, minima — 1°, massima 34°	
Pressione atmosferica . . . " 748mm - 746mm " 761mm	
Pioggia annuale . . . . . " 837mm " 416mm " 1266mm	
Giorni sereni nell'anno	83
" variabili "	209
" nuvolosi "	73
Fondo stanziato nel Bilancio dello Stato { Stipendi L. 22060. Dotazione " 9900.	

Personale scientifico.

Emmanuele Fergola, *1° Astronomo — Direttore.*
Francesco Contarino, *2° Astronomo.*
N. N., *1° Astronomo aggiunto.*
Vittorio Alberti, *2° Astronomo aggiunto.*
Vincenzo Tedeschi, *1° Assistente.*
Vittorio Nobile, *2° Assistente.*

Opere consultate.

Piazzi, *Ragguaglio del R. Osservatorio di Napoli eretto sulla collina di Capodimonte.*

Piazzi e Oriani, *Corrispondenza astronomica.* Pubblicazioni del R. Osservatorio di Brera in Milano, n° VI.

Brioschi, *Commentarii astronomici della R. Specola di Napoli*, Napoli 1824-26.

Taddei, *Del R. Osservatorio di Napoli.* Articolo inserito nel XV Quaderno degli " Annali civili del Regno delle Due Sicilie ".

Dembowsky, *Misure di stelle doppie e multiple.* Pubbl. della R. Accademia dei Lincei, Roma.

Houzeau, *Vade-mecum de l'astronome.*

Houzeau, *Bibliographie générale de l'astronomie.*

De Gasparis, *Sullo stato del R. Osservatorio di Capodimonte dal 1819 al 1883.*

Astronomische Nachrichten.

Cenno storico dell'Osservatorio astronomico di Napoli.

L'origine dell'Osservatorio astronomico di Napoli si collega con la instituzione della cattedra di astronomia nella R. Università fatta nell'anno 1735 dal re Carlo III quando era ministro Tanucci.

L'astronomo Felice Sabatelli, succeduto nella cattedra di astronomia al primo insegnante Pietro Martino, geometra, ripetutamente insistette per lo impianto di un osservatorio senza potervi riuscire, e successivamente Giuseppe Cassella (autore di un opuscolo: *Su la formola di Douwes per ritrovare in mare la latitudine con due altezze prese fuori del meridiano*) nominato professore di astronomia nautica della R. Marina, regnante Ferdinando IV nel Regno di Napoli (1), potè vedere accolte dal Governo le sue istanze ed ottenne nell'anno 1791 che si ponesse mano ad una specola presso il R. Museo. I lavori non giunsero che alle fondamenta per le vicende politiche che tennero Ferdinando fuori di Napoli nel tempo della repubblica partenopea (1798-99), e durante la dominazione francese (1806-1815). Ma il Cassella, nell'intervallo, non abbandonò il suo disegno; ed ardente di porlo in atto, evitando le difficoltà di una nuova costruzione, ottenne con decreto del 29 gennaio 1807, regnante Giuseppe Bonaparte, la concessione del Belvedere del monastero di S. Gaudioso, situato sul colle di S. Agnello, per impiantarvi l'Osservatorio. Ivi fece osservazioni della cometa del settembre 1807, si ammalò di malattia causatagli da queste osservazioni e morì al principio dell'anno 1808.

Col Cassella l'astronomia perdette il suo unico cultore in Napoli; ma la R. Accademia richiamò su questo oggetto l'attenzione del governo del re Gioacchino Murat, succeduto a Giuseppe Bonaparte sul trono di Napoli al 1° agosto 1808, ed a sua proposta venne inviato a Milano il giovane Federico Zuccari, " affinchè in quel celebre Osservatorio si istruisse nella pratica e si perfezionasse nella teorica ". Lo Zuccari stette a Milano dagli ultimi giorni dell'anno 1809 fino ai primi giorni dell'anno 1812, quando ricevette da Napoli la nomina di professore di astronomia nella R. Università e di direttore dell'Osservatorio di S. Gaudioso, esistente solo di nome, essendo morto il padre Ferdinando Messia da Prado, successore del Sabatelli nella cattedra e del Cassella nell'Osservatorio.

Lo Zuccari tornò a Napoli provveduto di alcuni strumenti ed accompagnato dal meccanico Augusto Aehnelt che li impiantò in appositi locali formati sulla terrazza di S. Gaudioso. Ivi il nuovo direttore, insieme con l'abate Capaccini fino al 1815 e da solo dopo, fece delle osservazioni di cui non è rimasta traccia. Ma intanto l'Accademia, riconoscendo che l'Osservatorio di S. Gaudioso mancava di stabilità, si adoperò per far deliberare la fabbrica di una specola grandiosa, proporzionata allo stato attuale dell'astronomia e conforme ai principi adottati dai più illustri astronomi, impegnando all'uopo l'opera dello Zuccari. Questi, con perdita di molto tempo nelle anticamere, raggiunse l'intento: fu dal Governo assegnata all'opera una massa di fondi della R. Casa di un valore equivalente a L. 127.400 ed il giorno 4 novembre 1812 si pose la prima pietra dello edifizio, che attualmente è l'Osservatorio di Napoli, con grande solennità.

(1) Il quale dopo si chiamò I del Regno delle Due Sicilie.

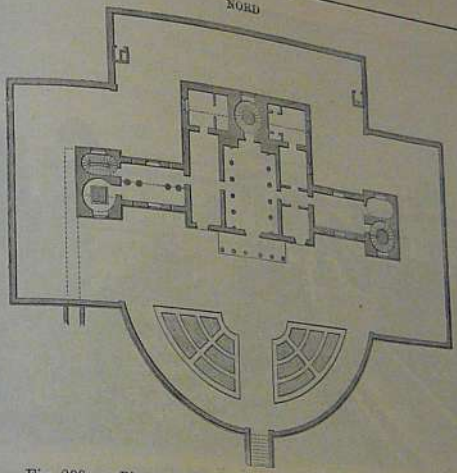


Fig. 299. — Pianta dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte.

La scelta del sito d'impianto fu fatta dallo Zuccari sul vertice della collina di Capodimonte, nella villa Miradois, che è distante dalla città non molto da esserne incomoda la dimora ed abbastanza per non risentire gli effetti delle vibrazioni prodotte dai veicoli nel suolo, dannosi alle osservazioni. Ciò non ostante, con lo impianto della tramvia elettrica fatto il 1° marzo 1899, una diramazione della quale si accosta all'Osservatorio e termina alla distanza di circa 350 metri da esso, si risente dagli strumenti magnetici un debole effetto della corrente elettrica che si disperde nel suolo, non di grave momento pel genere di osservazioni che vi si fanno attualmente. Per l'altitudine, di circa 154 metri sul livello del mare e di circa 100 metri sulla parte più popolata della città, emerge in tutto l'anno sulle nebbie che alle volte involgono la città e la campagna circostante. L'orizzonte è tutto libero all'intorno: i punti più alti sono il campanile della chiesa dei Camaldoli ad ovest, che si eleva di 3° 25′, e la vetta del Vesuvio ad est, che si eleva di 4° 12′. Il nucleo della collina di Capodimonte è costituito di tufo, roccia tenera e leggiera sulla quale poggia il suolo di tutto il paese all'intorno, che forma l'ossatura della configurazione altimetrica e che si trova, specialmente sulle alture, a piccole distanze dalla superficie. Su di questa roccia sono impiantate le fondazioni dei vari strumenti dell'Osservatorio, che sono perciò dotati di grande stabilità.

L'edifizio fu ideato dallo stesso Zuccari; l'architetto Stefano Gasse assegnò le dimensioni alle varie parti e dette il disegno; gli strumenti furono commessi al celebre artefice Reichenbach a Monaco di Baviera. Superando vari ostacoli che si erano presentati nel corso dell'opera, si erano date energiche disposizioni per ultimare l'impianto dell'Osservatorio per la fine del 1815. Erano in effetti nel

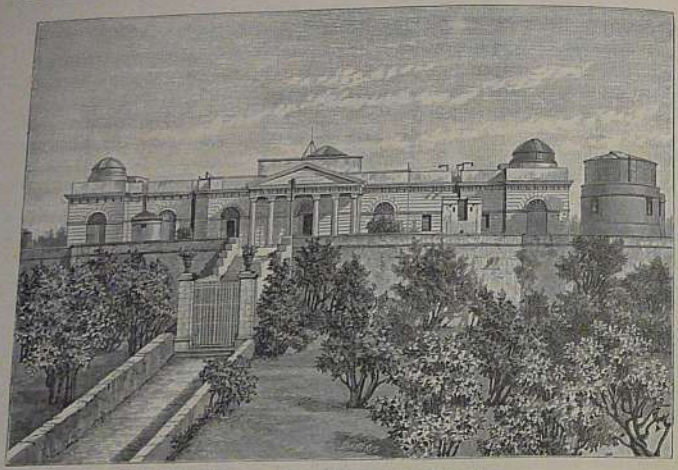


Fig. 300. — Osservatorio di Capodimonte.

febbraio di quell'anno giunti gli strumenti, lo stesso artefice Reichenbach, e l'astronomo di Gotha von Zach, invitato dal Governo a dirigerne l'impianto; ma i lavori di fabbrica non erano stati ultimati e le vicende politiche non ne permisero la continuazione. Ferdinando I ritornò al trono di Napoli nel maggio del 1815, e nel luglio seguente prese conto dei lavori della specola e dette le disposizioni pel proseguimento; ciò nondimeno i lavori progredivano poco, von Zach e Reichenbach partirono lasciando istruzioni, e si giunse così al marzo 1817, allorchè Ferdinando invitò il padre Giuseppe Piazzi, che egli aveva nominato direttore dell'Osservatorio astronomico di Palermo, per dare il proprio parere sul fatto e sul da farsi. Il Piazzi trovò che in generale tutto era stato ben fatto, dissentì sulla forma e destinazione di alcuni locali, e propose alcuni mutamenti, che oggi si riconoscono utili, rendendo possibili, con essi e con altre modifiche alla parte decorativa, economie che permisero il completamento dell'opera, la quale fu difatti ultimata verso la metà dell'anno 1820. L'intervento di Piazzi nello impianto dell'Osservatorio contribuì grandemente alla riuscita dell'impresa. Lo Zuccari era travagliato da grave malore, che lo condusse alla tomba prima che l'Osservatorio fosse finito; ed il Piazzi, già molto avanti negli anni, non esente da acciacchi, affezionato alla specola di Palermo da lui creata, impegnato ad ultimare i suoi lavori astronomici e desideroso di quiete, si occupò del nuovo Osservatorio con tanto amore ed energia che può ben dirsi essere a lui dovuta sì bella opera. Con le economie proposte sul progetto primitivo, magnifico e dispendioso, e con la vendita dei fondi destinati all'opera, dei quali rialzò di un terzo il valore, la rese possibile; conservandole il podere di Miradois, in mezzo al quale è situata, le assicurò la indipendenza, la possibilità di ingrandirsi con l'impianto di nuovi strumenti, e quelle condizioni

atmosferiche che è necessario di mantenere con la vegetazione intorno agli istituti del genere; e facendo nominare a direttore l'astronomo Carlo Brioschi, altrettanto attivo quanto intelligente e devoto alla scienza, riuscì a farla illustrare fin dalla sua origine. Quest'ultima era la sua mira principale: si rileva dalla sua corrispondenza con Barnaba Oriani quante preoccupazioni lo tormentassero per la scelta del direttore; con quanta soddisfazione egli scrivesse allo stesso Oriani, che gli aveva proposto il Brioschi: " nè dubito che sia per riuscire *juxta cor meum* "; quante ansie provasse nell'attesa della pubblicazione dei primi lavori che erano ritardati dalle difficoltà, che gli strumenti forniti alla specola, di nuova e complicata esecuzione, opponevano ad ogni passo. Ebbe la gioia di vedere stampati i primi fogli e le incisioni dell'opera " Commentarii astronomici della Specola Reale di Napoli 1824-26 " e morì il 22 luglio dell'anno 1826.

Piazzi lasciò l'Osservatorio costituito nel modo che vedesi nella pianta annessa e nel corrispondente prospetto (figure 299 e 300). Nelle due torrette ad est e ad ovest furono collocati due attazimut coi circoli verticali ripetitori del diametro di $0^m,932$; nella torretta a nord un equatoriale in bronzo ed ottone con circoli di $0^m,716$; nella sala meridiana a ovest un circolo meridiano del diametro di $0^m,970$ e uno strumento dei passaggi di $1^m,951$ di distanza focale. Tutti questi strumenti furono costruiti da Reichenbach e Utzschneider a Monaco nell'anno 1814 e destinati a misure assolute. La sala di mezzo fu destinata a biblioteca. Vi era anche un equatoriale di Reichenbach e Fraunhofer di 3 metri di distanza focale per osservazioni astrofisiche e differenziali, che non trovò allora posto adeguato nell'Osservatorio, cinque orologi a pendolo compensatore, ed altri strumenti di minore importanza geodetici e meteorologici. Il personale era costituito da Carlo Brioschi, direttore; Ernesto Capocci secondo astronomo; Antonio Nobile assistente; e Leopoldo del Re, alunno. Vi era inoltre in qualità di meccanico Augusto Achnelt.

Il direttore cominciò l'opera sua con l'osservazione ai circoli ripetitori delle distanze zenitali meridiane di undici stelle principali e del Sole nell'anno 1819, coadiuvato dagli altri astronomi, e seguitò le stesse osservazioni nei successivi anni 1820 e 1821. Altre osservazioni fatte dopo andarono disperse. Nel 1821 cominciò le osservazioni meteorologiche, che continuò fino a pochi mesi prima della sua morte. Pubblicò nel volume dei Commentarii citato di sopra la descrizione della specola e degli strumenti di cui era fornita, un accurato studio dei circoli ripetitori ed i risultati delle osservazioni astronomiche fino alla fine del 1820. Continuò la pubblicazione del calendario di Napoli iniziata nel 1815, dove a partire dal 1823 si trovano le sue osservazioni meteorologiche, ed ammalatosi di grave malattia, causata assai probabilmente dalle veglie e dall'eccessivo lavoro, morì nell'anno 1833. Le sue osservazioni dell'anno 1821 restarono lungamente inedite: furono ridotte e pubblicate negli anni 1889 e 1894 dall'astronomo Filippo Angelitti, come si dirà in seguito.

Il Brioschi prese posto tra i primi astronomi che raggiunsero nelle osservazioni l'esattezza dei tempi moderni. Trovò una formola per rappresentare l'effetto della refrazione, e costruì una tavola per determinarla con le costanti ottenute dalle proprie osservazioni. Con le osservazioni del 1820 tentò la risoluzione dei problemi più difficili della astronomia pratica, e, senza avere nei propri risultati una confidenza maggiore di quella che poteva nascere dalle condizioni nelle quali

le osservazioni erano state fatte, li pubblicò nella citata sua opera del 1824-26. Notevoli sono fra questi la costante principale della refrazione, la costante della aberrazione, la correzione delle tavole solari, il valore della latitudine di Capodimonte, e la indagine sulla variabilità di essa nel periodo di 300 a 320 giorni del Legendre. Egli accoppiava al lavoro astronomico il lavoro meccanico: nell'Osservatorio costruì due orologi a pendolo compensati, uno alla maniera ordinaria con verghe di zinco e di acciaio, ed uno, che non si trova descritto nei trattati, forse inventato da lui, nel quale il pendolo è costituito da tre verghe della stessa lunghezza riunite all'estremo superiore, di ottone quella di mezzo e di acciaio le due esterne; agli estremi inferiori di queste due ultime sono articolate due leve orizzontali che in dentro terminano sotto la verga di ottone alla quale si appoggiano da sotto in sopra, ed in fuori portano, una per ciascuna, due articolazioni per mezzo delle quali è sospesa la lente con una traversa orizzontale che va dall'una articolazione all'altra. Pertanto il pendolo subisce la dilatazione dell'acciaio ai fulcri delle due leve, e la dilatazione dell'ottone agli estremi dei bracci interni che si appoggiano alla verga centrale; i bracci esterni delle due leve cui è sospesa la lente, vengono rialzati per la differenza di dilatazione dei metalli e, per l'adottata proporzione tra le lunghezze dei bracci, il rialzamento è appunto della quantità di cui l'acciaio si è dilatato. Così la lente resta a tutte le temperature alla stessa distanza dall'asse di oscillazione. Quest'orologio fu da lui donato al custode dell'Osservatorio Giovanni Cortese che aveva preso parte al lavoro per costruirlo, e fu posteriormente acquistato dall'Osservatorio dove attualmente è in uso; l'altro è conservato in ottimo stato di funzionamento dal prof. Faustino Brioschi suo figlio.

Morto il Brioschi, fu nominato direttore dell'Osservatorio il secondo astronomo Ernesto Capocci il quale, avviato agli studi astronomici dallo Zuccari, suo zio, fino dal 1816 aveva pubblicato osservazioni astronomiche; ed ai posti di secondo astronomo e di assistente furono rispettivamente promossi Antonio Nobile e Leopoldo del Re.

Il nuovo direttore, coadiuvato dagli altri astronomi, fece al circolo meridiano ed all'equatoriale di Reichenbach le osservazioni per determinare le coordinate delle stelle fino alla 10 grandezza contenute nell'intervallo da XVIII ore a XIX ore di ascensione retta, e da 15° di declinazione nord a 15° di declinazione sud; lavoro lungo e fatto accuratamente, pel quale furono necessarie migliaia di osservazioni di posizione e migliaia di paragoni per stabilire con precisione le grandezze delle stelle osservate. I risultati, che furono molto pregiati dagli astronomi, costituiscono una carta dell'atlante celeste elaborato ad iniziativa della R. Accademia delle scienze di Berlino.

Il Capocci fece anche osservazioni di magnetismo terrestre negli anni 1840 e 1841, pubblicò notizie astronomiche nei calendari della R. Specola di Capodimonte; un " Commentario sulla cosmografia della *Divina Commedia* di Dante Alighieri „; delle " Indagini sulla resistenza dell'etere e sulla luce delle comete fatte nel ritorno del 1832 della cometa periodica di Biela „; ed altri studi sulle stelle cadenti, sulla loro frequenza e sugli sciami; sulla scintillazione; sull'illuminazione degli strumenti; sulle macchie solari; sugli aspetti di Marte, Saturno, Nettuno; e compilò due annuari per gli anni 1846 e 1847. Altre sue pubblicazioni a cominciare dal 1816 si trovano nel " Giornale enciclopedico „ di Napoli, nella " Corrispondenza

astronomica „ del barone von Zach, negli " Annali civili „ tra le " Memorie della R. Accademia delle Scienze di Napoli „ e nelle " Astronomische Nachrichten „. La sua mente era forte di acume critico; talune sue considerazioni sulle macchie solari furono ritenute della più grande importanza; e i suoi dialoghi sulle comete, oltre a rispondere con semplicità a tutte le domande del pubblico, furono giudicati esempio di stile classico.

Dall'anno 1850 al 1860 Del Re sostituì nella direzione dell'Osservatorio il Capocci. Questi aveva preso parte ai moti politici del 1848 ed era stato membro del parlamento costituzionale; e perciò, allorchè Ferdinando II tolse la costituzione, credette di doverlo rimuovere dal posto. Vi fu reintegrato dal Governo del re Vittorio Emanuele II.

Il Capocci fece le seguenti modifiche agli strumenti e al personale: verso il 1834 dette posto all'equatoriale di Fraunhofer nella torretta orientale togliendone il circolo ripetitore che, insieme ad altri strumenti, cedette all'Osservatorio della R. Marina, e che ora trovasi nel R. Ufficio Idrografico a Genova; nel 1863 ottenne dal ministro Matteucci la concessione di un cannocchiale, da sostituire a quello di Fraunhofer, che fu costruito dal Merz di Monaco e montato sul piede dello stesso Fraunhofer; avviò allo studio dell'astronomia Annibale de Gasparis cui conferì il posto di alunno nel 1840; dette adito nell'Osservatorio a C. H. F. Peters dal 1840; nel 1843 nominò alunno il professore Emmanuele Fergola, nel 1850 vi aggiunse Faustino Brioschi, figlio al defunto direttore, e finalmente nel 1863 ammise con lo stesso grado Arminio Nobile, figlio al secondo astronomo Antonio.

Il Peters impiantò nell'Osservatorio il declinometro magnetico di Gauss e vi fece osservazioni della declinazione e della inclinazione; lavorando all'equatoriale di Reichenbach scoprì due comete, una il 7 febbraio 1845 ed una il 26 giugno 1846, e pubblicò nelle " Astronomische Nachrichten „ varie osservazioni di pianeti, di comete e di occultazioni fatte a Capodimonte; dopo, per aver preso parte ai moti politici, dovette allontanarsi dal regno di Napoli; in seguito si recò in America dove ebbe la direzione dell'Osservatorio di Clinton.

Il De Gasparis, nel tempo in cui si alternavano alla direzione dell'Osservatorio Capocci e del Re, si occupò della ricerca di pianetini: scoprì quelli indicati con

10	— Igea,	il 12 aprile 1849
11	— Partenope,	l' 11 maggio 1850
13	— Egeria,	il 2 novembre 1850
14	— Irene,	il 23 maggio 1851 (già scoperto da Hind il 19 maggio)
15	— Eunomia,	il 29 luglio 1851
16	— Psiche,	il 17 maggio 1852
20	— Massalia,	il 19 settembre 1852
24	— Temi,	il 5 aprile 1853
63	— Ausonia,	il 1° febbraio 1861.

Il secondo astronomo Antonio Nobile, scienziato distinto, di somma dottrina ed osservatore acuto, era tormentato da sofferenze fisiche, che gli impedivano il lavoro scientifico per la maggior parte dell'anno; per le opinioni politiche anche egli era perseguitato dal Governo borbonico; fu intimo del barone Ercole Dembowsky e vi è luogo a credere che ai suoi consigli sia in gran parte dovuta l'importante

opera della " Misura delle stelle doppie e multiple „ cominciata dal Dembowsky a Napoli nella sua villa di S. Giorgio a Cremano. Egli seguitò le osservazioni meteorologiche iniziate dal Brioschi; durante sei mesi degli anni 1840 e 1841, fece osservazioni per determinare le costanti delle maree nel golfo di Napoli, i risultati delle quali sono contenuti in una memoria pubblicata dalla R. Accademia delle scienze, e riassunti nel Calendario della Specola di Napoli per l'anno 1852; determinò con l'osservazione delle stelle cadenti le differenze di longitudine fra Napoli e Palermo, Napoli e Roma, Napoli e S. Giorgio a Cremano, associandosi rispettivamente Leopoldo Del Re, il padre De Vico ed il barone Dembowsky; e descrisse le apparenze presentate dalla testa della cometa del 1851. Morì nell'anno 1863.

Capocci morì nei primi giorni del 1864 e Leopoldo del Re, che lo aveva sostituito nella direzione dell'Osservatorio dal 1850 al 1860, era stato messo a riposo. Laborioso quanto modesto il Del Re, poco di notevole potè realizzare nel breve intervallo della sua direzione, a causa dei torbidi politici. La sua opera, per quanto efficace, restò assorbita in quelle di Brioschi, di Capocci e degli altri astronomi: Brioschi ne fa ripetutamente menzione nei " Commentari „; Capocci, Peters e Nobile citano l'opera sua nelle loro pubblicazioni; alcune sue osservazioni di comete e di pianeti si trovano nelle " Astronomische Nachrichten „; e scritti su soggetti astronomici si trovano nei calendarii e negli annuarii da lui redatti dal 1850 al 1860.

Pertanto toccò al De Gasparis, che per le sue scoperte di asteroidi aveva acquistata fama mondiale ed era stato decorato con la medaglia d'oro dalla Società Reale Astronomica di Londra, di essere il successore di Capocci nella direzione dell'Osservatorio. Egli, il 26 aprile 1865, fece l'ultima scoperta nel suo prediletto campo di osservazione, cioè quella del pianetino 83—Beatrice.

L'attività del De Gasparis è anche molto notevole per aver pubblicato numerose memorie, circa 150, su problemi speciali della teoria e calcolo delle orbite dei pianeti, delle comete e delle stelle doppie e triple, sulla teoria e calcolo delle perturbazioni, sui determinanti, sulle equazioni differenziali e su altri argomenti matematici, meteorologici e magnetici. Sotto la sua direzione venne sostituito al cannocchiale di Fraunhofer e Reichenbach nella torretta orientale il cannocchiale di Merz, del quale si è fatto cenno; fu fatta una nuova montatura pel cannocchiale di Fraunhofer e Reichenbach, che pur restò incompleta fino al 1899; e s'impiantò un equatoriale di Dollond, donato all'Osservatorio nel 1878 da Giorgio Bishop, in una apposita torre (visibile nel prospetto a pagina 758) sul terrazzo dell'Osservatorio ad oriente, della quale il meccanico Cafaro costruì la cupola. Nell'anno 1871 acquistò un cerchio meridiano di prim'ordine del Repsold di Amburgo, impiantato nella sala orientale dell'Osservatorio nel 1874; accettò le proposte dell'astronomo Arminio Nobile, per ridurre secondo i progressi della scienza l'antico cerchio di Reichenbach e Utzschneider, e ne affidò la trasformazione al valente meccanico Ottavio Heurtaux, che già aveva fatta la nuova montatura del Fraunhofer; e corredò l'Osservatorio di tre cronografi di Hipp, di un pendolo e quattro cronometri di Frodsham, di termografi e barografi di Hipp e di Richard, di un pluviografo di Richard, di un magnetometro unifilare del modello di Kew, e di un inclinometro. Curò che le osservazioni meteorologiche fossero fatte in un sito adatto, costruendo apposita stazione per gli strumenti, e fece costruire nei terreni che circondano

l'Osservatorio due padiglioni per la determinazione assoluta degli elementi del magnetismo terrestre e due stazioni per le osservazioni differenziali magnetiche. Mantenne la biblioteca al corrente delle moderne pubblicazioni.

All'epoca in cui il De Gasparis assunse la direzione dell'Osservatorio, il rimanente del personale era costituito da Emmanuele Fergola, secondo astronomo; Faustino Brioschi ed Arminio Nobile, assistenti; Gennaro Cafaro, meccanico. Nell'anno 1878 ottenne il De Gasparis dal R. Governo l'allargamento della pianta del personale, il quale da quell'epoca si costituisce di 1 direttore, 1 secondo astronomo, 2 aggiunti astronomi, 2 assistenti, 1 meccanico e 1 aiuto meccanico. I primi posti della novella pianta furono occupati dagli astronomi preesistenti, e quelli di assistenti dal prof. Domenico Amanzio e dal dott. Francesco Contarino; al posto di aiuto meccanico fu nominato l'Heurtaux sopradetto; ma subito avvennero delle variazioni: il prof. Domenico Amanzio rinunziò al suo posto alla fine dell'anno, ed il prof. Filippo Angelitti accettò il posto di 2° assistente.

Nell'anno 1886 morì Ottavio Heurtaux e l'anno seguente fu accordato il riposo a Gennaro Cafaro, e presero i posti di meccanico e aiuto meccanico, rispettivamente, Pasquale Moreno e Francesco Cafaro.

Ottavio Heurtaux, tra i numerosi lavori, dette termine alla trasformazione del cerchio meridiano di Reichenbach, costruì un comparatore di livelle, un fotometro ed un declinometro magnetico differenziale. Dell'opera di quest'uomo zelante, erudito, ricco di sapere scientifico e tecnico ed abilissimo meccanico, l'Osservatorio si è grandemente avvantaggiato ed attualmente, come di un retaggio, si avvantaggia di quella che presta il suo discepolo Pasquale Moreno.

Nel tempo della direzione del De Gasparis, tra i principali lavori astronomici e geodetici del secondo astronomo prof. Fergola sono " I più probabili elementi dell'orbita di Clio „ (1865), la " Differenza di longitudine fra Napoli e Roma „ (1871), la " Determinazione novella della latitudine dell'Osservatorio di Capodimonte „ (1872), la " Posizione dell'asse della terra rispetto all'asse di figura „ (1874), le " Dimensioni della Terra e ricerca della posizione del suo asse di figura rispetto a quello di rotazione „ (1875), le " Posizioni apparenti di alcune stelle dell'Eridano „ (1877), le osservazioni di Marte (1879 e 1880), due memorie. Nella memoria della latitudine il prof. Fergola mette in evidenza delle differenze tra i valori della latitudine determinati in varie epoche a Napoli ed in altri osservatori con migliaia di accurate osservazioni, e mostra la necessità di accertare la invariabilità della latitudine con osservazioni in stazioni situate sullo stesso parallelo, a grandi distanze in longitudine, fatte con le stesse stelle, da ripetersi in epoche lontane; e nei rendiconti della Associazione Geodetica Internazionale tenuta in Roma nel 1883 si trova formolata analoga proposta, cioè, di organizzare delle determinazioni di latitudine continue e corrispondenti in osservatori situati sullo stesso parallelo ed a longitudini diverse per cercare così possibili variazioni dell'asse terrestre: proposta che fu accettata dalla Commissione, da essa raccomandata per la attuazione agli osservatori astronomici, e che costituisce il fondamento delle osservazioni, che all'uopo si fanno attualmente per cura della Commissione permanente dell'Associazione Geodetica Internazionale.

Tra i principali lavori del 1° astronomo aggiunto Arminio Nobile, parimenti nel tempo della direzione del De Gasparis, sono: la " Determinazione della differenza

di longitudine tra Napoli e Palermo „ (1874), la " Determinazione della differenza di longitudine fra Genova, Milano, Napoli e Padova „ (1875), il " Saggio di un nuovo metodo per la determinazione delle distanze scambievoli delle stelle multiple „ (1875), la " Terza determinazione della latitudine geografica dell'Osservatorio di Capodimonte „ (1883), le " Ricerche numeriche sulla latitudine del R. Osservatorio di Capodimonte „ (1885-1888-1890), tre memorie.

Questi quattro ultimi lavori ebbero origine nello studio della flessione del circolo meridiano Reichenbach-Heurtaux: disaccordi trovati nelle dedotte declinazioni delle stesse stelle in epoche successive (maggio 1884 - luglio 1884 ed ottobre 1884) lo indussero a sospettare la esistenza sensibile della variazione della latitudine in un corto periodo, come dalle deduzioni teoriche di Legendre. Per accertarsi del fatto fece, dal 1885 al 1888, numerose ed accurate determinazioni della latitudine; fece una novella riduzione delle osservazioni del Brioschi del 1820; ed una elaborata discussione di osservazioni di altri osservatori; e ne dedusse che il valore della latitudine di Capodimonte, ottenuto da Brioschi, era affetto dall'errore di circa 1" (senza assegnarne la causa) e che perciò la latitudine media di Capodimonte dal 1820 (Brioschi) al 1871 (Fergola) ed al 1888 (Nobile) non era variata, e che durante l'anno la latitudine a Capodimonte e quella di Greenwich manifestano l'esistenza di un massimo ed un minimo con la escursione di circa 1", e finalmente che il valore massimo della latitudine era andato crescendo nelle sue osservazioni dal 1886 al 1888.

Tra i lavori dell'assistente prof. Filippo Angelitti, nello stesso intervallo di tempo della direzione del De Gasparis, vi è, pubblicato nel 1888, il calcolo delle " Distanze zenitali circummeridiane osservate da Carlo Brioschi nel 1821 „ dove, con una discussione tanto minuta quanto profonda, è messa in evidenza la bontà delle osservazioni del Brioschi ed è dimostrato che la causa per la quale il valore della latitudine media, dedotto dal Brioschi, è diverso dai valori più recenti sta nell'imperfezione delle tavole della refrazione da lui impiegate.

E qui farà piacere di notare come dalla enumerazione di questi lavori e dai cenni dati su taluni di essi, si renda manifesto il contributo che l'Osservatorio di Capodimonte dette allo studio dell'importante problema della variabilità della latitudine, prima che la classica discussione, fatta dal dott. F. Küstner dell'Osservatorio di Berlino, delle osservazioni da lui eseguite allo scopo di determinare la costante dell'aberrazione con un nuovo suo metodo, avesse generato in lui la convinzione della variabilità della latitudine secondo il periodo di Eulero più o meno perturbato da influenze meteorologiche: variabilità che confermò con altre sue osservazioni del 1881 e con altre dell'Osservatorio di Pulkowa degli anni 1842-44 e 1863-73, ed in conseguenza prima ancora che, per opera dell'astronomo americano S. C. Chandler e coi grandi mezzi di cui egli potè disporre, venisse alla luce quella esauriente discussione di tutte le osservazioni antiche e moderne, valevoli allo scopo, fatte in tutti gli osservatori del mondo, dalla quale meravigliosamente emerge il tracciato della variazione a corto periodo della latitudine per la serie di 65 anni. Il primo annunzio della constatata variazione della latitudine fu dato dal Nobile nella citata sua memoria del 1885, presentata in giugno al R. Istituto d'Incoraggiamento di Napoli; quello del Küstner fu dato nel giugno 1888 nelle " Beobachtungs-Ergebnisse der Königlichen Sternwarte zu Berlin „; e quello

del Chandler nel numero del 6 novembre 1891 dell' « Astronomical Journal ». L'astronomo aggiunto prof. Faustino Brioschi, prima insieme agli alunni, e dall'anno 1878 insieme agli assistenti dell'Osservatorio, fece le osservazioni meteorologiche e le osservazioni differenziali della declinazione magnetica; e sotto il suo nome furono pubblicate la « Cronaca giornaliera delle fasi atmosferiche » (1865-67), le « Osservazioni barometriche e termometriche orarie » (1870-80), le « osservazioni meteorologiche » (1868-72), ed altri lavori minori. Le determinazioni assolute degli elementi del magnetismo terrestre coi nuovi stramenti, ed osservazioni di stelle e comete furono fatte dagli assistenti suddetti.

Nell'anno 1889 il De Gasparis si ritirò dall'Osservatorio, e morì il 21 marzo 1892. Gli successe nella carica l'attuale direttore prof. Emmanuele Fergola, il quale, promossi tutti gli altri astronomi, accordò il posto di 2° assistente prima al dott. Raffaele Pepere, giovane di vivace intelligenza ed appassionato cultore dell'astronomia, il quale fatalmente poco dopo fu tolto alla scienza ed alla vita, ed indi al prof. Vittorio Alberti.

Il prof. Fergola, nel breve intervallo trascorso fin'oggi fece ai locali dell'Osservatorio tutti i miglioramenti desiderabili e possibili; trasportò il laboratorio meccanico in una delle stazioni magnetiche che era superflua per le osservazioni, ne ingrandì i locali e ne aumentò gli utensili; provvide di un collimatore il cerchio meridiano di Reichenbach, costruendo apposito edificio distante 54 metri dal cerchio; destinò nuovi locali alla biblioteca; impiantò l'equatoriale di Fraunhofer in una torre fatta costruire ad occidente della terrazza dell'Osservatorio (che manca nella veduta a pagina 758); costruì una nuova cupola per la torretta dell'equatoriale di Reichenbach per sostituire l'antica che si era resa inservibile; e portò dei miglioramenti sentitamente necessari alle cupole orientale ed occidentale.

In tutti questi lavori ebbe parte attivissima il meccanico Moreno: all'opera sua sono strettamente legati sì gli interessi economici che quelli scientifici dell'Osservatorio; egli dirige l'officina con ingegno, abilità e perizia, la sua attitudine non conosce limitazioni, e la sua devozione giunge al sacrificio. Impiegando uno dei due circoli fatti da Heurtaux per costruire una macchina da dividere circolare, la quale attualmente trovasi nel Museo di arti e mestieri di Parigi, il Moreno arricchì il suo opificio di una simile macchina, fatta tutta di sua mano, completamente automatica, modello di precisione e di eleganza. La cupola di 6 metri di diametro del Fraunhofer, e quella di 3 metri pel Reichenbach, il collimatore del cerchio meridiano Reichenbach-Heurtaux, ed il perfezionamento dell'orologeria del Fraunhofer, sono prodotti della sua intelligenza. Al lavoro di esecuzione prende parte l'aiuto meccanico Francesco Cafaro, ed il suo contributo è egualmente interessante ed encomiabile.

Nell'anno 1892 il prof. Fergola acquistò uno strumento zenitale di Wannschaff, che impiantò nella torretta orientale al posto dell'equatoriale di Merz, e con esso negli anni 1893 e 1894, d'accordo con l'Osservatorio di Columbia College presso New York, fornito di uno strumento gemello, in attuazione parziale della proposta fatta alla Associazione Internazionale per la misura della Terra nell'anno 1883, fece una serie giornaliera di osservazioni per determinare la variazione della latitudine a Napoli, mentre le stesse osservazioni erano fatte a New York. Dai risultati,

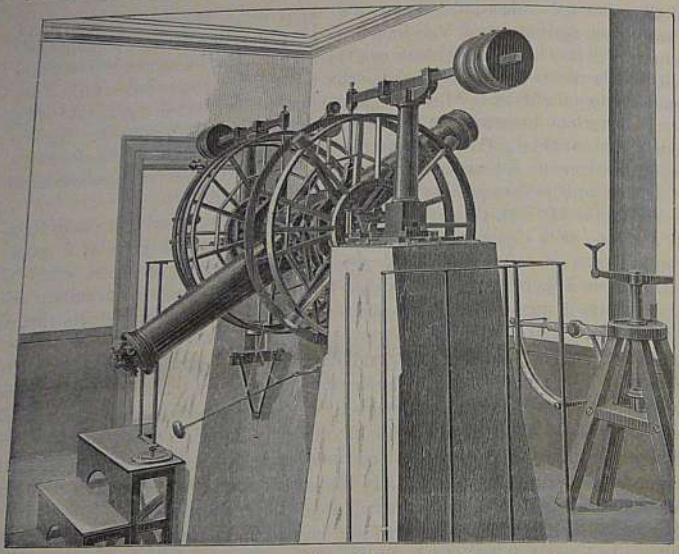


Fig. 301. — Cerchio meridiano di Repsold a Capodimonte.

oltre la variazione della latitudine, dedusse un nuovo valore della costante della aberrazione (20″.533).

Oltre di questo pubblicò le " Osservazioni del pianeta Vittoria e di 41 stelle di paragone „, lavoro fatto per invito del prof. A. Auwers e pubblicato, oltre che dalla R. Accademia delle Scienze di Napoli, dall'Osservatorio del Capo di Buona Speranza nel volume VII degli " Annali „, dove è impiegato nella determinazione della parallasse solare.

Il secondo astronomo Arminio Nobile, che prematuramente cessò di vivere nell'anno 1897, vittima della sua attività a pro della scienza, nel breve intervallo dal 1890 al 1897, pubblicò dodici memorie sopra soggetti astronomici e geodetici, fra le quali è notevole quella " Sulle osservazioni meridiane correlative per correggere la rifrazione, fatte a Capodimonte e a Cordoba „, ed un'altra su osservazioni per ottenere la conferma di talune piccole differenze da lui notate nelle distanze zenitali delle ascensioni rette in varie condizioni di osservazione.

Dell'astronomo prof. Filippo Angelitti, fra i molti lavori fatti nel suddetto intervallo, sono notevoli la " Nuova determinazione della latitudine di Capodimonte „ (1892), fatta con osservazioni continuate per un intero anno allo scopo di confermarne la variazione, le " Distanze zenitali circummeridiane del Sole „, complemento della riduzione delle osservazioni di Carlo Brioschi, e la " Data del viaggio dantesco desunta dai dati cronologici e confermata dalle osservazioni astronomiche riportate nella Commedia „. Lo stesso, insieme al dott. Contarino, con-

tinuò le osservazioni della variazione della latitudine, ed in ultimo il dott. Contarino pubblicò una memoria « Su di un metodo per determinare la latitudine geografica indipendentemente dai piccoli errori delle coordinate delle stelle » (1897).

Nel 1897, pel ritiro a vita privata del prof. Brioschi e per la nomina del prof. Angelitti a direttore dell'Osservatorio di Palermo, entrarono a far parte del personale dell'Osservatorio il signor Vincenzo Tedeschi ed il dott. Vittorio Nobile, nella qualità di 1° e di 2° assistente.

Capodimonte, 10 novembre 1899.

FRANCESCO CONTARINO.

OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI PALERMO

L'Osservatorio di Palermo fu fatto costruire da re Ferdinando IV, il quale, col Reale Dispaccio 1° luglio 1790, destinò a questo scopo una parte del Reale Palazzo, e propriamente la parte superiore della Torre di S. Ninfa.

Latitudine Nord	38° 6′ 44″
Longitudine Est di Greenwich	0h 53m 25s,90
Altezza sul mare	metri 72

I principali strumenti sono:

Antico Circolo di Ramsden.
Antico strumento dei passaggi di Ramsden.
Antico Equatoriale di Troughton.
Circolo Meridiano di Pistor & Martins.
Equatoriale di Merz, di 26 cm. d'apertura.
Strumento dei Passaggi, portatile, di Salmoiraghi.
Pendolo di Mudge.
Pendolo di Frodsham.

Personale al principio del 1899:

Angelitti Filippo, *Direttore.*
Zona Temistocle, *1° Astronomo aggiunto.*
De Lisa Giuseppe, *Aggiunto per la Meteorologia.*
Agnello Giacinto, *Assistente.*
Sartorio Giorgio, *Assistente di fondazione Piazzi.*
Gori Giuseppe, *Assistente straordinario.*

Fra i lavori fatti nell'Osservatorio ricordiamo:

Il Catalogo del Piazzi.
La scoperta del Pianeta Cerere, il 1° gennaio 1801.
La scoperta della Cometa Zona, il 15 novembre 1890.

F. Angelitti.

Fig. 302. — Osservatorio Meteorologico ed Astronomico di Catania.

GLI OSSERVATORI DI CATANIA E DELL'ETNA (1).

Osservatorio di *Catania*.

Luogo: Piazza dell'Osservatorio.	
Latitudine boreale	37° 30' 13",25
Longitudine orientale da Roma (Collegio Romano)	0h 10m 25s,2
" " da Greenwich	1 00 20 ,6
" " da Parigi	0 50 59, 7
Altezza sul mare (pozzetto del barometro)	metri 65
Declinazione magnetica	10° 08' W.
Inclinazione magnetica	53°
Media annua della temperatura	17° 6
" " " pressione barometrica	756mm,1
" " " tensione del vapor acqueo	9mm,9
" " " umidità relativa	61 %
" " " evaporazione	3.2
Quantità annua delle pioggie	564mm,7

Assegno annuo del Ministero dell'Istruzione Pubblica	L. 2700
" dell'Agricoltura	" 1800
" straordinario per la fotografia celeste	" 6400

(1) Le notizie intorno a questo osservatorio furono desunte dall'opuscolo *Gli Osservatori di Catania e dell'Etna* di A. Riccò, cortesemente regalatoci dall'autore stesso. I dati numerici ci furono pure cortesemente comunicati per iscritto dal medesimo prof. A. Riccò.

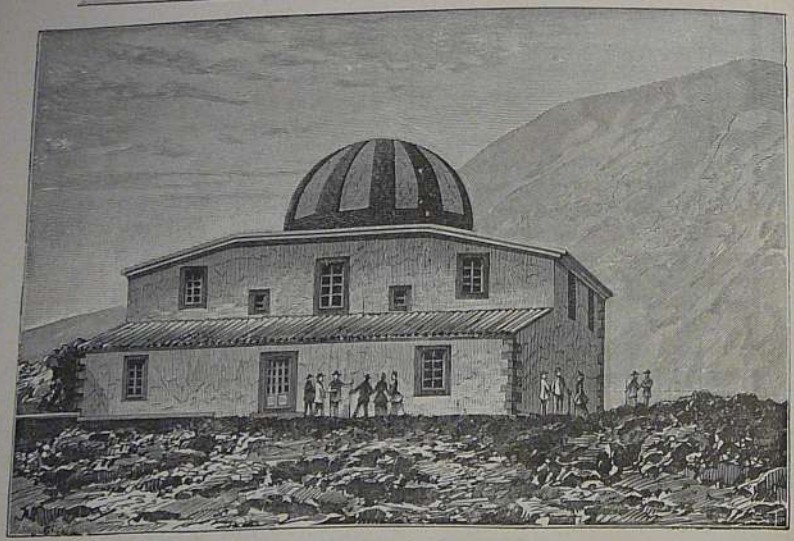


Fig. 303. — Osservatorio Etneo e Cratere centrale.

Osservatorio dell'*Etna*.

Alla base Sud del cratere centrale.

Latitudine boreale	37° 44′,17″,23
Longitudine orientale (E. Monte Mario)	2° 22′,46″,45
» » (E. Greenwich)	14° 59′,51″,85
Altitudine (base della Cupola)	2950^{m},4
Media annua della temperatura	+ 0°,2
» » » pressione barometrica	534^{mm}
» » » tensione del vapore acqueo	3^{mm}
» » » umidità relativa	65 %
» » » evaporazione diurna (1)	5^{mm}
» » » pioggia e neve fusa	400^{mm}

Questi due Osservatori sorsero per iniziativa ed opera del prof. Tacchini, che fin dal 1871 mostrò al Governo l'opportunità e l'utilità di avere almeno una stazione astronomica e meteorologica sull'Etna: di entrambi è direttore dal 1890

(1) Quando non gela (Giugno-Settembre).

Fig. 304. — Equatoriale fotografico: diametro dell'obbiettivo 0m,328.

il professore A. Riccò, insegnante Astrofisica nell'Università di Catania. Dal novembre 1890 si pose mano alla costruzione ed all'adattamento dei locali accessori, e dal febbraio 1891 si pose mano all'organizzazione dei diversi servizi degli Osservatori, ed alla collocazione degli strumenti in genere.

I principali strumenti sono i seguenti:

Cannocchiale refrattore con obbiettivo del diametro di metri 0.34, lunghezza focale metri 5,57, opera del Merz di Monaco. La montatura equatoriale è di tipo tedesco, costrutta dal Cavignato di Padova. Sull'Osservatorio Etneo havvi una montatura equatoriale eguale alla precedente con dispositivi tali da potere ad essa applicare prontamente l'uno o l'altro dei due maggiori obbiettivi ottici che l'Osservatorio possiede.

Equatoriale con montatura di tipo inglese moderno; obbiettivo del diametro di metri 0,15, lunghezza focale metri 2,23.

Equatoriale fotografico coll'obbiettivo del diametro di metri 0,328, lunghezza focale metri 3,46, opera dello Steinheil di Monaco. L'obbiettivo del collimatore ha 21 centimetro di diametro ed è opera del Salmoiraghi di Milano, al pari della montatura equatoriale costrutta secondo il primo tipo inglese (sistema di Ramsden),

che permette di puntare un astro in qualunque posizione (anche al polo) e di seguirlo continuamente da levante a ponente, mediante un potente roteggio di orologieria guidato da un regolatore a pendolo conico rovescio. A questo equatoriale vanno annessi gli apparecchi per ingrandimenti diretti; e vi è inoltre un grande *Macromicrometro* per la misura delle fotografie celesti.

Telescopio fotografico a riflessione (*coronagrafo* sistema Huggins).

Spettroscopio a diffrazione di Brassart.

Ed altri, come strumento dei passaggi, telescopio di Cassegrain, cronometri, pendoli, ecc.

L'Osservatorio si occupa essenzialmente di astrofisica e di fotografia celeste.

Annesso e sottostante all'Osservatorio astrofisico vi è un Osservatorio geodinamico per lo studio della sismologia, così importante in quelle regioni Etnee. Gli strumenti essenziali sono:

Grande sismometrografo, a due componenti NE-SW e NW-SE, con un pendolo lungo 25^{m},30 e con massa di 300 chilogrammi.

Sismometrografo Brassart, a due componenti N-S. E-W, e verticale.

Sismometrografo Cecchi, a tre componenti al pari del precedente.

Tromometro a registrazione fotografica del dott. Agamennone.

Quattro Pendoli sismografici.

Puteometro registratore.

Cronografo fotografico del dott. Cancani.

Personale dell' Osservatorio.

Dipendente dal R. Ministero della Pubblica Istruzione.

Prof. A. Riccò, *Direttore.*
Ing. A. Mascari, *1° Assistente.*
Prof. G. Saija, *2° Assistente.*
G. Ponte, *Assistente per la fotografia celeste.*

Dal luglio 1899 in poi:

P. Gatti, *Capo misuratore delle fotografie celesti.*
F. Ebedia, *Misuratore id., id.*
U. Mazzavalla, *Misuratore id., id.*

Dipendente dal R. Ministero dell'Agricoltura.

Ing. S. Arcidiacono, *Assistente per la Geodinamica.*

La Biblioteca conta più di 1330 volumi.
Annesso all'Osservatorio vi è un laboratorio meccanico.

INDICE ALFABETICO

A

Aberrazione cromatica, 30.
— sferica, 30.
— (costante dell'), 682.
— della luce, 121.
Acromatismo, 30.
Adams, 661.
Addensamento della materia, 714.
Afelio, 626.
Ago magnetico (Oscillazioni periodiche dell'), 300.
Albedo dei pianeti maggiori, 169.
Algol, 423.
— (sistema di), 424.
— (tipo di), 426, 730.
Ali ben Isa, 491.
Allineamento, 489.
Almagesto, 337, 390, 613, 615.
Altazimut, 459.
Ammassi stellari doppi, 386.
Analisi spettrale, 64.
Anassimandro, 609.
Andamento di un eclisse totale di Sole in diversi luoghi della Terra, 578 a 580.
Anderson, 441.
Andromeda (Nebulosa d'), 344, 376.
Andromedeidi, 272, 274.
— Loro connessione colla cometa di Biela, 274.
Anello a velo, 190.
Angolo orario, 463.
Anno di luce, 342, 704.
— lunare, 571.
— platonico, 554.
— solare, 536, 570.
— tropico (Durata dell'), 536.
— — e sidereo, 554.
Anomalia media, 612.
— vera, 612.
Anse di Saturno, 187.
Apex, 266.
— del movimento del Sole, 696.
Apogeo, 551.
Apparati per le basi, 489.
Apparecchi astronomici di misura, 449.
Apparizione di stelle nuove, 717.
Appendici di Saturno, 187.
Apsidi (linea degli), 551.
Arco diurno, 481.
— notturno, 481.
— — (Posizione dell'), 482, 483.
Areoliti, 257.
Argelander, 64.
Argon, 322.
Ariel, 203.
Aristarco, 569, 603, 617.
Ascensione retta, 333, 462.
Ascensioni in pallone, 517.
Asse del mondo, 481.
— (Grande), 648.
Associazione Geodetica Internazionale, 487.
Asta metrica, 489.
Asteroidi, 167.
Astrofisica, 11.
Astrofotometro, 63.
Astrologia, 9.
Astronomia dell'invisibile, 60, 664.
— (Materia ed importanza dell'), 3.
— (Valore educativo ed etico dello studio dell'), 12.
Atmosfera celeste, 705.
— (Influenza dell'), 34.
Attività del Sole (Periodo di undici anni dell'), 308.
Auvers, 438, 669, 684, 688.
Azimut, 459.

B

Baeyer (Generale), 497.
Balena (Nebulosa della), 364.
Ball, 688.
Bande dello spettro, 83.
Barnard, 143, 191, 443.
Base della triangolazione, 487.
Beer, 96.
Belopolsky, 430.
Berberich, 276.
Bery Frank, 117.
Bessel, 11, 192, 278, 497, 518, 552, 660, 669, 684.
Bianchini, 131.
Bilancia di torsione, 508, 523.
Bilanciere a compensazione, 475.
Böddicker, 117, 391.
Bode e Titius (Legge di), 167, 661.

Bolidi, 249.
Bolometro, 117, 294.
Bond, 52, 199.
Bonne (*Durchmusterung* di), 64.
Borda, 490.
Bouvard Alexis, 663.
Bradley, 681.
Bredichin, 276, 278.
Brenner, 132.
Brester, 326.
Brorsen, 284.
Bureau international de poids et mesures, 495.
Burnham, 669.

C

Caduta della Luna verso la Terra, 635.
— libera, 632.
Calendario, 569, 571.
— della Rivoluzione, 573.
— Giuliano (Riforma del), 572.
— Gregoriano, 572.
— — (sua adozione in Inghilterra), 573.
Calore lunare, 117.
Cambiamenti di fase, 562.
Campbell, 160, 193, 443.
Campioni metrici, 494.
Cancro (Tropico del), 546.
Cannocchiale, 17.
— astronomico, 29.
— di collimazione, 68.
Cañon del Colorado, 109.
Canone delle eclissi, 590.
Capo (Nubi del), 374.
Capricorno (Tropico del), 546.
Carta eclittica, 166.
— fotografica del Cielo, 338.
Catalogo di zone della Società astronomica, 337.
Cavendish, 523.
Celoria Giovanni, 409.
Cercatore, 47.
— (Cannocchiale), 50, 465.
Cerere, 167.
Chalid ben Abdalmelik, 491.
Challis, 662.
Chandler, 421, 426, 521.
Charloix, 54, 168.
Chatelier (Le), 292.
Cheveaux, 706.
Chioma delle comete, 220.
Circoli di altezza, 461.
— dei prismi, 557.
— di posizione, 466.
— verticali, 455, 461.
Circolo cercatore, 464.
— meridiano, 452.
— polare, 547.
Clark, Alvan, 669.
Cleomede, 491.
Clevite, 322.
Colonna termica, 294.
Colori complementari, 418.
Cometa meridionale del 1880, 230.
— di Biela, 244, 274, 275.
— — (divisione della), 222.
— di Brorsen, 224.
— — e sua scomparsa, 243.
— del Khedivè, 212, 577.
— di Encke, 224, 234.
— di Faye, 234.
— di Gale, 220.
— di Halley, 239.
— di Holmes, 209, 220, 223, 225, 379.
— di Lexell, 248, 658.
— di Sawerthal, 223.
— di Wells, 225.
— (Tipo normale di una grande), 211.
Comete, 207.
— (Annunzio della scoperta delle), 217.
— (Apparizione delle), 257.
— (Apparizione normale delle), 211.
— (Aspetto delle comete telescopiche), 219.
— (Caduta sul Sole delle), 330.
— (Cercatore di), 216.
— (Coda delle), 209, 210.
— (Code di, Code multiple di), 214.
— (Coincidenza delle traiettorie di diverse), 232.
— (Commensurabilità delle durate di rivoluzione delle), 657.
— (Costituzione fisica delle), 247.
— (Cuffia delle), 221.
— Dimensioni apparenti e vere delle), 213.
Comete disperse, 241.
— (Distanza del perielio delle), 217.
— (Elementi delle), 674.
— (Espansione delle), 277.
— (Famiglia di comete di Giove), 241.
— (Formazione della coda delle), 278.
— (Fotografia delle, brillanti), 211.
— (Gruppi di), 233.
— (Imprigionamenti delle, per opera dei pianeti), 237.
— (Involucro nebuloso delle), 220.
— (Lunghezza apparente della coda delle), 211, 213.
— (Massa delle), 235.
— (Natura delle), 277.
— (Nucleo delle), 220.
— (Numero complessivo delle comete osservate), 215.
— (Numero delle comete nel nostro sistema solare), 217.
— (Origine delle), 281, 282.
— (Oscillazione di luminosità delle), 223.
— (Periodo della visibilità delle), 217.
— (Rallentamento della velocità orbitale delle), 231.
— retrograde, 648.
— (Rifrazione delle), 236.
— (Ripartizione delle), 227.
— (Scoperta di), 216.
— (Spettro a fasce delle), 224.
— (Sprazzi di luce delle), 221.
— (Superstizioni sulle), 207.
— (Teste di), 210.
— (Timore delle), 207.
— (Tipi di), 278.
Comparatore, 489.
Compensazione del pendolo e del bilanciere, 475.
Comprensione soggettiva, 42.
Congegno d'orologeria o congegno motore, 466.
Conservazione della forza, 706.
Convenzione (Metro della), 495.

Coordinate geografiche ed astronomiche, 461, 531.
Copernico, 10, 120, 617, 677.
— (Sistema cosmico di), 618.
Cornù, 78, 605.
Corona del Sole, 284, 307, 322, 325, 577.
Coronio, 322.
Corpi celesti (Descrizione dei), 85.
— (Numero dei), 706.
Correnti terrestri, 312.
Cosmiche (Meteore), 247.
Cosmogonia (Idee sulla, prima di Newton), 608.
Crepuscolo, 545.
Cromosfera (Spettro della), 386.
Cronografi, 458.
Cronologia (Ricerche di), 592.
Cronometro nautico o Cronometro a scatola, 475.
Crown (Vetro di), 29, 31.
Culminazione, 452, 481.
Cupole di specole, 472.
Cysat P., 598.

D

Darwin G. H., 720.
Daubréelite (Ferro cromato), 264.
Declinazione, 333, 461.
Deferente, 613.
Deimos, 729.
Delambre, 605.
Denderah (Zodiaco di), 555.
Denning, 216.
Densità dei pianeti (Determinazione della), 640.
Denza padre Francesco, 382.
Descartes, 708.
Deslandres, 173, 307.
Depressione dell'orizzonte, 483.
Determinazione della parallasse per mezzo della velocità della luce, 605.
— — — per mezzo delle osservazioni di Marte, 604
— — — per mezzo dell'osservazione degli Asteroidi. 604.
— del luogo sul mare, 558.
— della longitudine, 485, 560.
Determinazione telegrafica delle longitudini, 486.
Deviazione dei gravi cadenti dalla verticale, 501.
— del filo a piombo, 508. 509.
Deviazioni negative del filo a piombo, 509.
Diametro apparente della Luna, 568.
— vero della Luna, 568.
— delle stelle fisse, misura dei diametri apparenti, 341.
Diesterweg, 12.
Dione, 199.
Dispersione cromatica delle lenti, 27.
Disposizioni per l'illuminazione, 465.
Divisione dei piccoli pianeti, 658.
— di Cassini, 187, 190, 192.
— di Encke, 190, 658.
Dollond, 29.
Doppler-Fizeau (Principio di), 82, 692.
Douglass, 135, 140, 159.
Drago (Testa del), 491.
Durata del mondo, 734.

E

Easton, 391.
Ebert, 660, 719.
Eccentricità, 612, 649.
— delle divisioni dei circoli, 456.
Eccesso sferico, 487.
Eclisse di Sole (Elementi geocentrici di un'), 588.
— lunare (calcolo degli elementi di un'), 586.
— parziale di Sole, 576.
Eclissi anulari, 588.
— — del Sole, 576.
— (Causa e ritorno periodico delle), 605.
— dei satelliti dei pianeti, 595.
— di Luna, 574.
— di Sole, 574.
— — (Andamento delle), 585.
— — parziali, 576.
Eclissi anulari totali, 576.
— — di Luna (Relativa frequenza delle), 589.
— lunari (Durata della totalità nelle), 586.
— solari (Determinazioni degli elementi), 586.
— — (Durata della totalità nelle), 588.
Eclittica, 166, 462, 544, 649.
— (Carta dell'), 166.
— (Obliquità dell'), 551.
Effemeridi, 650.
Elementi delle orbite dei pianeti maggiori, 669-671.
— — dei quattro pianeti minori più antichi, 672.
— del movimento lunare, 672.
— delle comete periodiche, 674.
— delle comete maggiori e più notevoli, 675.
Elio, 321, 358.
— (Linea dell'), 321.
Eliometro, 470.
Eliostato, 494.
Ellisse, 645.
Elongazioni della luce zodiacale, 284.
Encelado, 198.
Encke, 602.
Engelmann, 185.
Ensisheim (Caduta di pietre di), 249.
Epicicli, 613.
Epoche glaciali, 329, 551.
Equatore celeste, 462, 482.
— terrestre, 482.
Equatoriale, 462.
Equazione annua, 566.
— dell'orbita, 565.
— della luce, 605.
— della traiettoria, 565.
— del tempo, 536, 537.
— personale assoluta, 468.
Equinozio, 544.
— di primavera o punto equinoziale, 387, 462.
Eratostene, 491.
Errore azimutale, 454.
Errori di collimazione, 454.
Estensione dell'Universo, 706.
Estinzione della luce solare, 706.

Etere cosmico, 66, 360.
Eudosso, 611.
Eulero, 515.
Evelio, 29, 95, 209, 337.
Evezione, 566.
Evoluzione dei mondi, 712 e seguenti.

F

Facole sulla superficie esterna del Sole, 61, 301, 302, 331.
Falb Rodolfo, 643.
Faraday, 707.
Faro di Amburgo, 476.
Fascie equatoriali, 174.
Faura P., 580.
Fechner, 64.
Fergola, 519.
Ferri meteorici, 262.
Ferro nickelifero delle meteoriti, 264.
Figure di Widmannstätten, 264.
Fizeau, 78.
Flammarion Camillo, 12.
Flint (Cristallo di), 29, 31.
Flusso e riflusso, 640.
Fluttuazione, 341.
Foerster Guglielmo, 15, 285.
Fontana, 95, 131.
Forma a piramide della luce zodiacale, 283.
Formazioni degli anelli, 718.
— nebulari nel gruppo delle Plejadi, 371, 372.
Forza centrifuga, 503.
Fotografia celeste, 43.
— dei grandi pianeti, 53.
— del Cielo, 43 e seg.
— delle comete brillanti, 211.
Fotometria, 62.
Fotometro, 62.
— a cuneo affumicato, 422.
Fotosfera del Sole, 293, 306.
Foucault, 78, 605.
— (Esperienza col pendolo di), 500.
— (Pendolo di), 499.
Franz, 129.
Fraunhofer (Linee di), 77.
Frequenza delle eclissi di Sole e di Luna, 589.
Fresnel (Esperienza cogli specchi di), 71.
Frost, 294.
Fuoco di una lente, 20.

G

Galattico (Piano), 695.
Galilei, 10, 28, 92, 93, 181, 187, 617, 677, 679, 680.
Galle, 204, 604, 662.
Gas (Teoria cinetica dei), 708.
Gauss, 167, 655.
— (Costante di), 652.
— (Formola per la Pasqua di), 573.
Geoide, 510.
Giapeto, 191. 199.
Ginzel, 590.
Giorno sidereo, 536.
— solare medio, 536.
Giove, 171 e seg.
— (Apparente divisione del primo satellite di), 182.
— (Atmosfera del primo satellite di), 184.
— (Atmosfera di), 174.
— (Cinque lune di), 181.
— (Diametro del primo satellite di), 182.
— (Diametro della terza luna di), 185.
— (Diametro della quarta luna di), 185.
— (Distanza dal Sole di), 172.
— (Eclisse di Luna su), 181.
— (Famiglia di comete di); 241.
— (Fasi di), 172.
— (Grandezza apparente di), 171.
— (Grandezza vera di), 171.
— (Macchia rossa di), 173, 178, 417, 431.
— (Oscillazioni della luminosità di), 174.
— (Oscuramenti del Sole su), 182.
— (Passaggio dei satelliti nell'ombra di), 183.
— (Primo satellite di), 182.
— (Quarta luna di), 185.
— (Quinto satellite di), 185, 729.
Giove (Rivoluzione sinodica di), 172.
— (Satelliti di), 181 e seg., 673.
— (Schiacciamento di), 171.
— (Scoperta delle lune di), 679.
— (Scoperta del quinto satellite di, per opera di Barnard), 185.
— (Secondo satellite di), 185.
— (Terza luna di), 185.
— (Velocità di rotazione di), 173.
Giunone, 168.
Gnomoni dei Babilonesi, 449.
Goccia nera o nastro, 598.
Grado (Misura del), 487.
— europeo, 487, 497.
— in Lapponia, 494.
— nel Perù, 494.
Graduazioni circolari, 456.
Grandezza (Classe di), 333.
Granulazione della lastra fotografica, 44.
Gravità (Costanza non assoluta della), 534.
— sul Sole, 636.
— (Determinazione della), 532.
— (Trasparenza della materia per la), 710.
Gravitazione, 702 e seg.
Gray, 292.
Gruithuisen, 132.
Gylden, 655.

H

Hall Asaph, 161.
Halley, 210, 239, 600.
— (Cometa periodica di), 238.
Hardnig, 168.
Harzer Paolo, 666.
Haughton, 522.
Heis Edoardo, 391.
Helmert, 524.
Helmholtz, 301, 330, 707.
Hencke, 168.
Herschel John, 374.
Herschel Guglielmo, 25, 139, 185, 201, 204, 354, 661, 695, 699.
Herz, 707.
Hi e Ho, 583, 592.

Hofler, 702.
Holden, 132, 378.
Holmes (Cometa di), 209.
Hooke, 680.
Horrebow-Talcott (Metodo di), 518.
Horrose, 599.
Humboldt, 283, 312.
Huygens, 187.

I

Inclinazione, 648.
Infinito dell'Universo, 704.
Ingrandimento, 22.
– (Lenti di) 24, 25.
Intensità della gravità (Determinazione dell'), 503.
Interferenza (Anelli d'), 41.
— (Raggi di luce di), 71.
Iperbole, 646.
Iperione, 201.
Ipparco, 337, 552, 611, 612, 613, 689.
Irradiazione, 39, 41, 580, 598.
Istituto tecnico di Schott e Comp., 31.

J

Jacoby, 684.
Janssen, 38, 301, 304, 577.

K

Kant, 713.
Kirchhoff, 77, 292.
Kirkwood, .
Kleiber, 694.
Klein Ermanno J., 113.
Klinkerfues, 231, 274, 699.
Kobold H., 694, 702.
Küstner, 519.

L

Lacrime di San Lorenzo, 269.
Lahire, 96.
Lambert, 62.
Lamp, 129.
Langley, 78, 289, 292, 294.
Laplace, 512, 655, 713.
Lassell, 199, 203.
Lastre fotografiche (Misura delle), 54.
Latitudine geografica, 482.
— (Variazione della), 534.
Laurenzite, 264.
Lavori geodetici in Italia (Stato presente dei), 526.
Legge psico-fisica, 64.
Leggi di Keplero, 630, 644.
Lenti, 26.
— di correzione, 59.
— d'ingrandimento, 24.
— (Aberrazione cromatica delle), 27, 28.
— (Errore di sfericità delle) 27.
Leonardo da Vinci, 89.
Leoneidi, 271.
Levare eliaco degli astri, 555.
Liais Emanuele, 663.
Lick (Specola di), 36.
Linea dei nodi, 565, 648.
— di Orione, 350, 368.
— meridiana, 450.
Linee o bande atmosferiche nello spettro di Mercurio, 124.
— di divisione degli anelli di Saturno, 658.
— oscure d'assorbimento, 77.
— telluriche, 124.
Livellazione di precisione, 489, 506, 528.
— (Procedimento di), 453.
Livelle, 508.
Livello, 452.
— medio del mare, 511, 529.
— — di due mari, 512.
Lockyer, 446.
— (Ipotesi meteoritica di), 433.
Lohrmann, 96.
Longitudine (Determinazione astronomica della), 599.
— e latitudine eclittiche, 462.
— geocentrica, 623.
Lowell Percival, 146.
Luce, 17 e seg.
— (Aberrazione della), 677.
— (Equazione della), 605.
— (Estinzione della), 64, 706.
— (Intensità della), 23, 47.
— (Natura e diffusione della), 18.
— (Rifrazione della), 41.
— (Teoria dell'emanazione della), 707.
Luce (Teoria dell'emissione della), 66.
— stellare (Estinzione della), 706.
— ultravioletta, 61.
— (Velocità della), 605, 682.
— zodiacale, 283 e seg.
— — (Natura della), 285, 721.
— — (Oscillazioni periodiche della), 284.
— — (Ripartizione dello splendore), 284.
— — (Spettro della, zodiacale), 284.
Luna (Accelerazione secolare della), 591, 592.
— *Alberto*, 91.
— (Cambiamento di fasi della), 89.
— (Catene di montagne della), 106.
— (Colorazione della Luna ottenebrata), 575.
— (Coni montuosi della), 107.
— (Contorno apparente della), 89.
— (Crateri risplendenti della), 111.
— (Crateri della), 98, 104.
— (Diametro apparente della), 569.
— (Distanza della), 560, 567.
— (Durata dell'esposizione ai raggi solari), 117.
— (Eclissi di), 485, 574.
— (Escavazioni a cratere della), 98, 106.
— (Età della), 92.
— (Fotografia della), 52.
— (Inclinazione della traiettoria della), 563.
— (Inclinazione dell'equatore della), 563.
— (Ingrandimenti della) 52.
— (Librazione della), 92 e seg., 720.
— (Luce cinerea della), 119.
— (Luce monocromatica), 69.
— (Massa della), 642.
— (Mese sinodico della), 88.
— (Misura dell'altitudine sulla), 93.
— (Movimento della linea degli apsidi della), 565.

Luna (Montagne anulari della), 97, 101.
— (Movimento della linea dei nodi della traiettoria della), 563.
— (Movimento medio della), 563.
— (Perturbazioni periodiche della), 656.
— (Pianure a bastioni della), 98.
— (Piani oceanici della), 563.
— (Picchi della), 107.
— (Radiazione calorifica totale della), 117.
— (Sistemi di raggi della), 108, 111, 719.
— (Solchi della), 107.
— (Spettro della), 89.
— (Vene di monti della), 107.
— (Traiettoria della), 563.
— (Valli trasversali della), 108, 719.
— (Vero diametro della), 568.
Longitudine eliocentrica, 623.
— geocentrica, 623.
Luogo apparente, 556.
— normale, 651.

M

Macchie (Teoria delle) di Zöllner e Pickering, 430.
— del Sole, 293, 296.
— — (Accorciamento delle), 296.
— — (Movimento proprio delle), 298.
— — (Nucleo delle), 296.
— — (Ombra del nucleo delle), 301.
— — (Penombra delle), 296, 301.
— — (Relazione fra la velocità di traslazione e la larghezza), 297.
— — (Spettro delle), 319.
— — (Variazioni di forma delle), 296.
Macchine a dividere i cerchi, 456.
Maddox, 44.
Madler, 96, 111, 112, 133, 661.
Magellano (Nubi di), 374.
Magna constructio di Tolomeo, 615.
Magnetismo terrestre e macchie solari (Connessione tra), 310, 311.
Maja (Nebulosa di), 371.
Maree, 640.
— atmosferiche, 643.
Marte, 133 e seg.
— (Atmosfera di), 136.
— (Canali di), 148.
— (Colorazione di), 135.
— (Condizioni di grandezza di), 135.
— (Durata della rotazione di), 137.
— (Durata della rivoluzione sinodica), 133.
— (Fasi di), 134.
— (Lune di), 162, 164, 729.
— (Mari di), 145.
— (Misure di), 145.
— (Particolari della superficie di), 136.
— (Quadratura di), 133.
— (Satelliti di), 672.
— (Sdoppiamento dei canali di), 151, 156.
— (Spettro di), 136.
— (Sporgenze sul contorno apparente), 159.
— (Vicenda delle stagioni di), 139.
— (Zone polari di), 139.
Massa dei pianeti (Determinazione della), 640.
— dei piccoli pianeti, 666.
— del globo terrestre, 522.
— delle comete, 235.
— delle stelle fisse, 688.
Maxwel, 707.
Mayer Roberto, 707.
Mayer Tobia, 96.
Mécanique céleste di Laplace, 655.
Melloni Macedonio, 117.
Mendenhall, 524.
Mercurio, 120 e seg.
— (Atmosfera di), 123.
— (Diametro di), 123.
— (Distanza del Sole da), 122.
— (Durata del giorno su), 125.
— (Durata della rivoluzione sinodica di), 120.
Mercurio (Elongazione orientale di), 120.
— (Fasi di), 122.
— (Passaggio di), 122, 597.
— (Periodo rotatorio di), 125.
— (Spettro di), 124.
Meridiana od Orologio solare, 450.
Merope (Nebulosa di), 371.
Mese anomalistico, 565.
— draconitico, 565, 583.
— sinodico, 561, 583.
— tropico e sidereo, 561.
Meteore cosmiche, 247.
Metodo dei minimi quadrati, 459, 489.
— fotogrammetrici, 626.
Meteore cosmiche, 247, 648.
— — (Cause dello splendore delle), 256.
— (Determinazione dell'altezza delle), 254.
— (Esplosione delle), 257.
— (Linee curve descritte dalle), 251.
— (Nube accompagnante le), 250.
— (Origine delle), 265.
— (Punto di fermata delle), 257.
— (Spettro delle), 253.
— (Velocità vera delle), 255.
Meteoriti, 257.
— (Caduta delle), 249.
— di ferro, 262, 264.
— pietrose, 263.
— (Formazione della crosta e delle solcature di fusione delle), 263.
— (Frattura a dorso delle), 262.
— (Impronte a forma di dita della crosta di fusione delle), 261.
— (Scorza di fusione delle), 261.
— (Struttura mammellare di frattura delle), 261.
Metone (Ciclo di), 571.
Metro assoluto (Inesattezza di questa espressione), 525.
Mezzo resistente nello spazio celeste, 234.
Metro, 493.

Metro della Convenzione, 495.
— originale di Parigi, 489.
— provvisorio, 495.
Micrometro, 465.
Mimas, 198.
Mira Ceti, 432, 433.
Mire (Osservazioni per mezzo di), 455.
Misura del grado, 487.
— delle basi, 489.
Misure della natura, 492.
Momenti del passaggio di Mercurio davanti al Sole, 598.
Mondi (Numero dei), 706.
— (Storia dell' evoluzione dei), 712.
Mondo (Sistema del, secondo Newton), 631.
Monte Bianco (Osservatorio sul), 38.
Monte Hamilton, 37.
Montigny, 342.
Moto proprio delle stelle fisse, 689.
— — del sistema solare, 689.
Movimenti apparenti della Luna, 561.
— — del Sole, 535.
Movimento a vortici, 708.
— delle linee degli apsidi e dei nodi, 655.
— orbitale nei sistemi di stelle doppie, 415.
Mucchi od ammassi o coacervazioni stellari, 87, 343, 353, 384.
— — in Ercole, 384.
— — in Perseo, 386.
— — nei Gemelli, 386.
— — nelle Pleiadi, 386.
Müller, 62, 174.
Mysterium cosmographicum di Keplero, 622.

N

Nadir, 455.
— (Punto di), 454.
Nebulosa americana, 343.
— a granchio, 386.
— a spirale in Orione, secondo Barnard e Pickering, 369.
— della Balena, 364.
Nebulosa Dumbbell, 383.
Nebulose ad anelli, 381, 717.
— — nella Lira, 380.
— ad Omega, 380.
— a spirali, 375.
— di gas (Spettro delle), 358.
— di Usaja, 371.
— di Orione, 344, 366, 717.
— — (Variabilità della), 370.
— (Distanze delle), 359.
— in Orione, 344, 365.
— variabili, 362.
— (Estensione delle), 360.
— (Movimenti propri lungo la visuale delle), 360.
— (Nidi di), 361.
— di Andromeda, 344.
— doppie, 718.
— planetarie, 358, 383.
— stellari, 359, 363, 384.
— (Via Lattea delle), 361.
Neison, 90.
Nettuno, 204 e seg.
— (Albedo di), 205.
— (Atmosfera di), 205.
— (Costituzione fisica di), 204, 206.
— (Diametro apparente di), 205.
— (Diametro vero di), 205.
— (Distanza di), 204.
— (Luna di), 205.
— (Rivoluzione sinodica di), 204.
— (Satelliti di), 678.
— (Spettro di), 205).
— (Storia della scoperta di) 204, 661.
Nova Andromedae, 439.
— *Aurigae*, 438, 441, 444.
— *Cassiopejae*, 436.
— *Coronae*, 439.
— *Cygni*, 438.
Nubi del Capo, 374.
— di Magellano, 374.
— luminose notturne, 254.
Nuove stelle, 86, 421, 617.
— — (Antiche menzioni di), 436.
— — (Contegno spettroscopico delle), 439.
— — (Ipotesi sul brillare delle), 446, 717.
— — (Spettro della *Nova Aurigae*), 444.
Nutazione, 514, 535, 556, 563, 643.
— (Costante della), 683.
Newcomb, 191, 605, 663.
Newton, 17, 28, 29, 631, 677, 680, 707.
Niesten, 131.

O

Oberon, 203.
Obiettivo, 29.
Occultazione di stelle, 597.
— dei satelliti di Giove, 181.
Occultazioni, 597.
— di stelle fisse dalla Luna, 597.
— e passaggi, 595.
Oculare, 29.
Olbers, 159, 649, 706.
Ombre volanti, 580.
Onde permanenti, 70.
Oppolzer, 590, 592, 643.
Opposizione, 623.
— dei pianeti, 586.
Ora di precisione, 472.
— nazionale, 540.
— normale, 473.
— solare, 543.
Orbita (Correzione dell'), 650.
— (Equazione dell'), 565.
— dei pianeti (Forma ellittica dell'), 646.
— delle stelle doppie (Determinazione dell'), 667, 676.
— (Determinazione dell'), 648.
— (Elementi dell'), 649.
Orbite delle comete, 646.
Origine della vita sui corpi celesti, 725 e seg.
Orione (Bocca del Leone nella Nebulosa di), 366.
— (Cinto di), 365.
— (Regione di Huyghens in), 366.
— (Spada d'), 365.
Orizzonte di Mercurio, 454.
Orologio (Andamento giornaliero dell'), 474.
— (Variazione giornaliera dell'), 474.
Oscillazione del clima, 446, 721.

Oscillazioni del sostegno del pendolo, 505.
Osservatorio Boyden presso Arequipa, 38.
— del Capo, 227, 230.
— dell'Alleghany, 193.
— dell'Etna, 37, 769.
— dello Harward College in Cambridge (Nord-America), 480.
— dell'Università *Kaiser-Wilhelm* a Berlino, 480.
— del Monte Bianco, 38, 316.
— del Vaticano, 753.
— di Amburgo, 476.
— di Berlino, 475.
— di Brera, 408, 618, 735.
— di Catania, 769.
— di Firenze (Arcetri), 749.
— di Ginevra, 183, 468, 459.
— di Greenwich, 541.
— di Herschel in Bath, 25.
— di Milano (Brera), 735.
— di Napoli, 755.
— di Nizza (Francia), 82, 479, 480.
— di Padova, 742.
— di Palermo, 768.
— di Parigi, 469, 470.
— di Potsdam, 51, 84.
— di Pulkowa (Pietroburgo), 462, 469.
— di Strasburgo, 216, 452, 479.
— di Teramo (Collurania), 750.
— di Torino, 746.
— di Vienna, 476, 477, 478, 480.
— di Yerkes (Chicago), 32.
— Flammarion in Parigi, 178.
— indiano, 450.
— Kenwood in Chicago, 303.
— Lick sul Monte Hamilton (California), 31, 37, 193, 251, 466, 577.
— Lord Rosse in Parsonstown (Irlanda), 26.
— Lowell a Flagstaff (Arizona), 185.
— *Urania* di Berlino, 169, 467, 479.
Osservazioni differenziali, 464.

P

Palisa, 166.
Pallade, 168.
Parabola, 645.
Parallasse, 567.
— annua, 363.
— delle stelle fisse, 577, 679, 686.
— solare, 595.
Passaggi, 597.
— di Venere, 470.
— oscuri dei satelliti su Giove, 183.
Passaggio al meridiano, 452.
— di pianeti davanti al Sole, 597.
Peirce, 505.
Pendolo, 473, 503.
— a compensazione, 475.
— a secondi, 493.
— ad inversione o convertibile, 504.
— regolatore a forza centrifuga, 467.
— fisico, 504.
— geodetico, 505.
— (Inversione del), 504.
— matematico, 504.
— normale, 473.
Penombra delle macchie del Sole, 296.
Perielio, 626.
Periodo di Eulero, 515.
Perrotin, 132, 190.
Perseidi, 271, 272.
Perturbazioni, 651.
— periodiche, 656.
— (Teoria delle), 655.
Peters, 54, 577.
Pianeti, 85 e seg.
— (Congiunzione dei), 608.
— intramercuriali, 577.
— maggiori (Elementi delle orbite dei), 671, 672.
— minori (Elementi delle orbite dei quattro più antichi), 672.
— (Movimenti apparenti dei), 606.
— (Movimento retrogrado dei), 606.
— (Opposizioni dei), 608.
— (Piccoli), 53, 164.
Pianeti (Tavole di Leverrier dei), 665.
— transnettunici, 663.
Piazzi, 167.
Picard, 493.
Pickering W. H., 69, 91, 135, 143, 145, 146, 147, 148, 422, 441.
Pietra meteorica, 248.
— — (Caduta d'una), 257.
Pietre meteoriche (Scoperte di), 258, 262.
Pingré, 590.
Pioggia di pietre, 260.
Plantamour, 304.
Platone, 617.
— (Anno di), 554.
Plejadi, 343.
— (Nebulose delle), 371, 372.
Plutarco, 593.
Poincaré, 173.
Polariscopio, 284.
Poli (Altezza dei), 482.
— (Cause delle oscillazioni dell'altezza dei), 522, 721.
— (Distanza dei), 461, 481.
— (Misure dell'altezza dei), 481.
— (Oscillazioni dell'altezza dei), 481, 517.
Polo celeste, 461, 481.
Polvere meteorica (Pioggia perenne di), 595.
— — (Caduta della), 260.
Pons-Brook (Cometa di), 223.
Popoli primitivi (Astronomia dei), 3.
Porpora della vista, 43.
Posizione apparente, 556.
— d'una nave in mare (Determinazione della), 535.
— media, 556.
Pouillet, 289.
Powalky, 602.
Precessione, 7, 8, 535, 552, 563.
— (Costante della), 682.
— lunisolare, 643.
Presepio (nel Cancro), 344.
Primum mobile, 610.
Prisma, 66, 67.
Prisma-obiettivo, 68.
Pritchard, 702.
Problema dei tre corpi, 653.
Prototipo del metro, 489.

Protuberanze, 304, 305, 577.
— (Altezza delle), 306.
— (Forme delle), 306.
— (Spettro delle), 304.
— (Velocità delle), 305.
Punti draconitici, 565.
Punto di radiazione, 271.
— equinoziale, 462.

Q

Quadrante murale, 450, 451.

R

Radiazione calorifica del Sole, 291.
Raffreddamento (Processo del), 728.
Raggi infrarossi, 71.
— ultravioletti, 71.
Rallentamento della rotazione terrestre, 721.
Ramsay, 322.
Ranyard, 116.
Reich, 501, 523.
Resistenza dell'involucro gasoso del Sole, 233.
Rete trigonometrica (Tracciamento, misura e calcolo della), 527.
Reticolo di Rowland, 82.
Rhea, 198.
Richarz, 524.
Richer, 502.
Riflessione della luce, 20.
— della luce solare, 284.
Riflettori, 27.
Rifrattori, 27.
Rifrazione atmosferica, 34, 90, 434.
— e dispersione dei colori della luce in linee, 26.
Ripartizione in zone della superficie esterna terrestre, 546.
Ristenpart, 702.
Ritardazione della rotazione terrestre per causa della caduta di polvere meteorica, 595.
Roberts A. W., 685.
Römer Olaf, 596.
Rosse (Lord), 25, 886.
Rotazione della Terra, 620.
Rotazione della Terra (Origine della), 715.
Rowland (Reticolo di), 82.
Russell, 374.

S

Sacco di carbone settentrionale, 392.
Sala meridiana, 478.
San Lorenzo (Sciame di), 271.
Saros, ossia periodo delle eclissi di Luna, 583.
Saturno, 186 e seg.
— (*Albedo* di), 190.
— (Anelli di garza o trasparenti di), 190.
— (Anse od appendici di), 187.
— (Apparizioni di righe e macchie sulla superficie esterna di), 196.
— (Carattere meteorico del sistema anulare di), 193.
— (Diametro di), 189.
— (Diametro vero di), 189.
— (Dimensioni degli anelli di), 192.
— (Distanza dal Sole di), 189.
— (Distanza dalla Terra di), 189.
— (Divisione di Encke in), 190, 658.
— (Divisione in zone della superficie esterna di), 196.
— (Durata di rivoluzione e dimensioni delle lune di), 198.
— (Durata di rivoluzione del sistema anulare di), 193.
— (Durata sinodica della rivoluzione di), 188.
— (Formazione del sistema anulare di), 190.
— (Grossezza degli anelli di), 192.
— (Involucro esterno di nubi su), 197.
— (Linee di divisione degli anelli di), 658.
— (Linea di Encke o di lapis nel sistema anulare di), 190.
— (Lune di), 188, 198.
— (Natura meteorica degli anelli di), 194.
Saturno (Ombra della sfera di, sull'anello), 190.
— (Rotazione di), 196.
— (Satelliti di), 198 e seg., 673, 730.
— (Schiacciamento di), 189.
— (Separazione o divisione di Cassini di), 187, 190, 192.
— (Sguardo al sistema anulare dalla superficie di), 194.
— (Sistema anulare di), 186, 189.
— (Spessore dell'anello di), 192.
— (Spettro del globo di), 194.
— (Trasparenza dell'anello di garza di), 191.
— (Variazioni d'aspetto degli anelli di), 188.
— (Vera durata di rivoluzione di), 188.
Schäberle, 147, 670, 688.
Scheiner, 73, 89, 129, 293, 301, 424.
— (Classi spettrali di), 348.
Scheuten, 132.
Schiaparelli Giovanni, 35, 124, 125, 132, 139, 143, 144, 156, 190, 273, 276, 722.
Schjellerup, 338.
Schmidt Giulio, 96, 102, 109, 113.
Schmidt Augusto (Teoria del Sole di), 327.
Schönfeld, 702.
Schreiberzite, 264.
Schröter, 96, 113, 142.
Schwabe, 302.
Schwahn, 523.
Sciame di agosto, 269.
— di novembre, 269.
Scintillare (Tremolio occidentale della luce delle stelle fisse), 341.
Scintillazione, 342.
Secchi padre Angelo, 129, 292, 351, 438, 500.
Seeliger, 62, 285, 445, 706.
Seidel, 62.
Selenographia di Evelio, 95.
Sestante, 557.
Serioni coniche, 645.

Sfera oraria, 559.
Sfere, 609.
— di Eudosso, 610.
— di fuoco, 248, 249.
— — (Punto d'arresto delle), 250.
— Sfericità (Aberrazione di), 30.
Sherman, 284.
Short, 132.
Sizigie, 561, 556.
Sirio (Stelle del tipo di), 347, 349.
Sirio e Procione (Scoperta del compagno di), 669.
Sistema del mondo di Tolomeo, 613.
— solare (Conseguenze della penetrazione di una stella fissa nel), 659.
— — (Formazione del), 722.
— — (Movimento progressivo nello spazio del), 697.
— — (Stabilità del), 657.
Sistemi del mondo presso gli antichi (Storia dei), 618.
Smyth Piazzi, 117.
Solarizzazione, 55.
Sole, 286 e seg.
— (Accelerazione del movimento superficiale del), 637.
— (Analisi spettrale del), 27, 64 e seg.
— (Anelli del), 581.
— (*Apex* del), 702.
— (Assorbimento dell'atmosfera del), 294.
— (Atmosfera del), 294.
— (Azioni elettriche e magnetiche a distanza del), 293.
— (Caduta delle comete sul), 330.
— (Conservazione della energia raggiante del), 330.
— (Corona del), 285, 307, 322, 325, 577.
— (Correnti nell'atmosfera del), 300.
— (Cromosfera del), 306.
— (Densità media del), 637.
— (Diametro apparente del), 287.
— di mezzanotte, 550.
Sole (Distanza della Terra dal), 287.
— (Durata della radiazione del), 550.
— (Eclissi parziali di), 576.
— (Eclissi totali di), 576.
— (Facole del), 61, 301, 302.
— (Fotosfera del), 293, 306.
— (Granulazione del), 301.
— (Gravità del), 636.
— (Intensità della luce del), 289.
— (Irradiamento di calore dal), 290.
— (Linee atmosferiche nello spettro del), 316.
— (Massa del), 637.
— (Mondo del), 85.
— (Movimento apparente del), 535.
— (Offuscamenti della luce del), 293.
— (Parallasse del), 287, 459, 584, 600.
— (Periodo della frequenza delle macchie del, e sua relazione con fenomeni terrestri), 309.
— (Posizioni del), 537.
— (Resistenza dell'involucro gasoso del), 223.
— (Spettro del), 314, 315.
— (Spettro della corona del), 307, 323.
— (Spettro delle protuberanze del), 305.
— (Spettro delle facole del), 321.
— (Stelle del tipo del), 347.
— (Superficie esterna del), 287.
— (Temperatura del corpo del), 291.
— (Teorie del), 323, 327.
— (Velocità di rotazione del), 297.
Solstizio d'estate, 544.
— d'inverno, 544.
Sospensione cardanica, 476.
Spazio a tre o quattro dimensioni, 705.
— celeste (Temperatura dello), 407.
— cosmico (Sua trasparenza alla luce), 712.
Spazio euclideo, 705.
Specchio concavo, 20.
Specole (Impianto delle), 479
— (Ordinamento delle), 477.
Spettrale (Analisi), 64.
Spettri d'emissione, 77, 83.
Spettro, 67.
— continuo, 83.
— d'assorbimento, 77, 83.
— delle Nebulose, 354.
— discontinuo, 76.
— (Inversione dello), 76.
— (Spostamento delle linee nello), 81, 693.
Spettrografia, 83.
Spettrografo, 84.
Spettrometro, 78.
Spettroscopio, 67.
— ad inversione, 83.
— oculare, 69.
Spostamenti delle linee costiere, 513.
Stabilimento del porto, 641.
Stagioni, 544.
— (Causa delle), 545.
— (Durata delle), 551.
Stazione Boyden presso Arequipa, 38.
Stelle della sera o del mattino, 126.
— ticonica o di Tycho, 435, 436.
Stelle (Ammassi di), 87, 343, 353, 385.
— cadenti, 247, 249.
— — (Frequenza oraria delle), 269.
— (Occultazioni di), 597.
— — (Oscillazioni intermittenti dello splendore delle), 254.
— — (Periodicità, giornaliera e annuale delle), 268.
— — (Punti di convergenza delle traiettorie delle), 274.
— — (Relazione tra comete e le stelle cadenti), 273.
— — (Sciami periodici di), 271.
— — telescopiche, 253.
— circumpolari, 483.
— chiomate, 207.
— (Classi di grandezza delle), 333.

Stelle con coda, 86, 207.
— di paragone, 466.
— doppie, 87, 338, 407, 408. Vedi anche: Determinazione dell'orbita.
— — colorate, 417.
— — (Movimento orbitale nei sistemi di), 415.
— — (Numero delle), 409.
— — otticamente, 450.
— — spettroscopiche, 419.
— fisse, 85, 689.
— — (Conseguenze della penetrazione di una stella fissa nel sistema solare), 659.
— — (Il mondo delle), 332.
— — Loro distanza dedotta dai movimenti propri), 691, 692.
— — (Movimenti propri delle), 690.
— — (Parallasse delle), 679, 686.
— — (Sfera delle), 610.
— — (Spettro delle), 347.
— fondamentali, 477.
— inseparabili nella visione, causa il loro addensamento, 343.
— medicee, 181.
— (Movimento vero nello spazio delle), 695.
— (Numero delle), 337.
— nuove (Apparizioni di), 241, 374, 421.
— (Riunioni di), 396, 405.
— (Serie spettroscopica delle), 347.
— temporanee, 421, 435, 438.
— vaganti, 85.
— variabili, 87, 241, 421.
— — (Cause della variabilità delle), 428.
— — (Suddivisione delle), 422.
Steinheil, 62.
Sterneck, 524.
— (Apparecchio a pendolo di), 505.
Struve (Classi di stelle doppie di), 409.
Struve Guglielmo, 339, 605.
Struve L., 702.
Struve O., 684.
Stumpe, 702.
Superficie di riferimento, 510.
Surya-Sid-dhânta, 583.

T

Talete, 609.
Tavola di rifrazione, 516.
Tavole Alfonsine, 616.
Telescopiche (Stelle cadenti), 252.
Telescopio a specchio, 25.
— gigantesco di Herschel, 36.
— spezzato, 97, 469.
Temperatura dello spazio, 407.
— (Inversione della), 517.
— (Zero assoluto della), 420.
Tempo dei fusi orari, 540.
— dell'Europa centrale, 540, 541.
— (Determinazione del), 477.
— (Divisione del), 535.
— (Equazione del), 536, 537.
— locale, 539.
— medio o civile, 536.
— nazionale, 540.
— sidereo, 463.
— — (Ora di), 463.
Teodolite, 486.
Teoria del Sole di Schmidt, 327.
Termometro metallico, 489.
Terra (Densità dell'interno della), 523.
— (Densità media della), 523.
— (Determinazione dello schiacciamento della Terra, a mezzo delle misure del pendolo), 501.
— (Forma e grandezza della), 480.
— (Grandezza dell'ombra della), 585.
— (Lavori per la misura della), 491 e seg.
— (Ombra della), 574.
— (Rallentamento della rotazione della), 721.
— (Rotazione della Terra attorno al proprio asse), 618, 680.
— (Schiacciamento della), 498.
Tesa del Châtelet, 493.
Tesa del Nord, 494.
— del Perù, 494.
Teti, 188.
Thollon, 82.
Tisserand, 655.
Titania, 203.
Titano, 199.
Tolomeo, 337, 390, 614, 615.
Traiettorie iperboliche delle meteore (Frequenza delle), 266.
Transiti, 597.
Trapezio nella nebulosa di Orione, 365, 413.
Trasformazione delle traiettorie delle comete in conseguenza delle perturbazioni, 658.
Trasporti geodetici, 508.
Trasporto del tempo, 486.
Triangolazione, 486.
Tropico del Cancro, 546.
— del Capricorno, 546.
Trouvelot, 131, 132, 164, 190, 378.
Tschirnhausen, 117.
Tycho de Brahe, 435, 436, 450, 451.

U

Ulugh-Bey, 337.
Umbriel, 203.
Urano, 201 e seg., 661.
— (*Albedo* di), 202.
— (Atmosfera di), 203.
— (Diametro vero di), 202.
— (Lune di), 203.
— (Rivoluzione sinodica di), 202.
— (Rotazione attorno all'asse), 203.
— (Satelliti di), 673.
— (Schiacciamento di), 203.
— (Scoperta di), 201.
Urti di corpi celesti, 717.

V

Variabilità dell'altezza polare, 513.
— della durata del giorno, 513.
Variazione, 566.
Velocità tangenziale, 645.

Venere, 126 e seg.
— (*Albedo* di), 128.
— (Atmosfera di), 128, 129.
— (Cambio di fase di), 126.
— (Diametro di), 127.
— (Distanza dal Sole), 126.
— (Durata della rivoluzione sinodica di), 126.
— (Luce fosforescente sulla superficie notturna di), 129, 314.
— (Luna di), 132.
— (Passaggi di), 57, 599.
— (Spedizioni per il passaggio di), 602, 603.
— (Spettro di), 129.
— (Velocità di rotazione di), 131.
Vesta, 168.
Via Lattea, 390 e seg.
— — (Andamento della), 391.
— — (Carta della), 391
— — (Complesso della), 404.
— — (Considerata come ammasso stellare), 394
— — (Disposizione nello spazio della), 393.
Via Lattea (Distanza della), 405, 406.
— — (Distribuzione delle coacervazioni stellari e delle nebulose nella), 402.
— — (Estensione della), 404
— — (Nebulose della), 361.
— — (Parti nebulose della), 400.
— — (Ricchezza di stelle nella), 396.
— — (Sacchi di carbone della), 392.
Vico (De), 131.
Vogel (Classi spettrali di), 348.
Vogel H. C., 83, 129, 132, 174, 183, 225, 294, 365, 383, 425, 444, 697.
Volpe (Nebulosa della), 383.
Vulcani di fango, 719.

W

Waters Sydney, 402, 522.
Watson, 129, 577.
Weinek, 101.
Weinnecke, 129.
Weiss, 230.
Wendelin, 604
Widmanstätten (Figure di), 264.
Williams Stanley, 197.
Wilsing, 524, 684.
Wilson, 292.
Wolf Massimiliano, 54, 167, 168.
Wolf Rodolfo, 308.
Wundt Guglielmo, 705.

Z

Zero assoluto, 420.
Zodiacale (Luce), 283.
Zodiaco, 283, 555.
— di Denderah, 505.
— (Luce dello), 283, 721.
— (Segni dello), 505.
Zöllner, 62, 91, 278, 704.
Zona di totalità, 588.
Zona di Bessel, 337.
Zone orarie, 541.

ERRATA-CORRIGE

Pagina	*Linea*	*Invece di*	*Si legga*
22	14 (*ab imo*)	di	sino ad
25	10	e che ..... menzionate.	e questi telescopi stessi non posseggono nelle loro disposizioni ottiche alcun' altra parte oltre quelle qui menzionate.
29	10	obbiettivo	oggetto
33	9 (*ab imo*)	5000	50000
47	21	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$

Questi errori ci furono cortesemente fatti avvertire da un egregio amico, che ringraziamo volentieri. Per i molti altri, nei quali certo incorse, pur troppo, il traduttore si raccomanda alla benevola indulgenza del lettore.

206509

Comete lucenti con code

a) Cometa Donati, disegnata da Bond a Cambridge (N.-A.) il 29 settembre 1858.
b) Cometa Coggia (1874, III), disegnata da Trouvelot a Cambridge (N.-A) il 13 luglio 1874.
c) Grande Cometa del settembre 1882, col suo involucro nebulare, disegnata da Thollon e Gouy a Nizza il 16 ottobre 1882.
d) Cometa Olbers, disegnata da Rod. Spitaler in Vienna il 23 ottobre 1887.
e) Cometa Sawerthal, disegnata da Rod. Spitaler in Vienna il 7 aprile 1888.

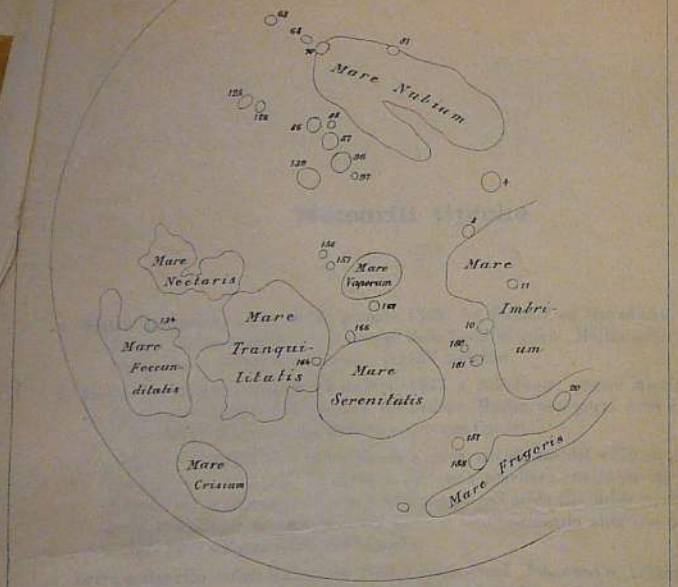
Comete lucenti con code

a) Cometa Donati, disegnata da Bond a Cambridge (N.-A.) il 29 settembre 1858.
b) Cometa Coggia (1874, III), disegnata da Trouvelot a Cambridge (N.-A.) il 13 luglio 1874.
c) Grande Cometa del settembre 1882, col suo involucro nebulare, disegnata da Thollon e Gouy a Nizza il 16 ottobre 1882.
d) Cometa Olbers, disegnata da Rod. Spitaler in Vienna il 24 ottobre 1887.
e) Cometa Sawerthal, disegnata da Rod. Spitaler in Vienna il 7 aprile 1888.

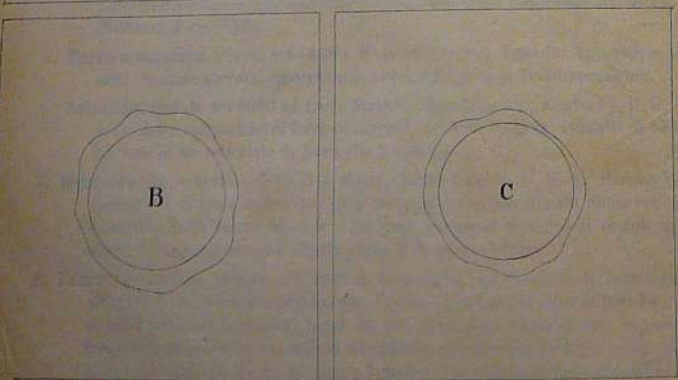
Tav. a pag. 47.

Meteoriti tipiche

1. **Pietra meteorica**, caduta li 30 gennaio 1868, fra Pultusk ed Ostralenka, sul Narev, Polonia, Russia. Appartiene al gruppo delle Condriti grigie. Mostra sulla superficie di frattura una struttura brecciforme e granuli metallici.
2. **Pietra meteorica**, caduta li 13 ottobre 1877 a Sokobanja, presso Alexinoi, Serbia. Appartiene al gruppo delle Condriti sferolitiche. Mostra una parte della caratteristica crosta nera di fusione ed una frattura con grossi Condri.
3. **Preparato**, ottenuto dal ferro meteorico di Toluca, conosciuto dal 1776 ed appartenente al gruppo delle Ottaedriti. La figura mostra uno scheletro cubiforme di ferro listato (Tenite), che fu ottenuto mediante il trattamento coll'acido cloridrico e lascia scorgere distintamente l'assetto ottaedrico del ferro e l'accrescimento alternato delle lamelle secondo l'una o l'altra faccia dell'ottaedro.
4. **Ferro meteorico**, caduto li 27 marzo 1886, a Cabin Creek, Johnson-Co, Arkansas, U. S. A. Appartiene al gruppo dei ferri ottaedrici. Massa di ferro perfettamente intatta, di ben stabilita provenienza e finora una delle più difficili ad osservarsi nelle cadute, la faccia anteriore essendo a forma di scudo, con sporgenze, e mostrando numerose impressioni ditiformi (Piezoglipti).
5. **Ferro meteorico**, trovato nel 1888 a Welland, Ontario, Canadà. Appartiene ai ferri ottaedrici. Sezione corrosa, mostrante le cosidette figure di Widmannstätten.
6. **Pallasite**, trovata nel 1880 ad Eagle Station, Carrol-County, Kentucky, U. S. A. Passaggio dalle pietre meteoriche al ferro meteorico. Sezione levigata, cristalli di olivina giacenti nei vani di un reticolato di ferro che li collega.
7. **Mesosiderite**, trovata nel 1856 a Mincy, Tancy-County, U. S. A. Passaggio dalle pietre meteoriche al ferro meteorico; sulla faccia levigata non mostra alcun reticolato di ferro collegato. Sulla lastra figurata e levigata scorgonsi due grossi noduli di ferro nella massa fondamentale costituita da grani di ferro e d'olivina.
8. **Ferro meteorico**, trovato nel 1886 a Youndegin, subdistretto di Youndegin, 70 miglia all'est di York, Australia occidentale. Grosso monolite del peso di 909 Kg., alto 126 cm. e, nella massima larghezza, largo 68 cm. Superficie ampiamente coperta di intrecci, con cavità cilindriche, scavazioni ad imbuto, attraversata da fori; bella erosione ondulata, negli spazi liberi fra lamella e lamella. Appartiene ai ferri ottaedrici. Deve avere noduli di Cliftonite (Grafite pseudomorfa di diamante).



I numeri qui scritti corrispondono agli oggetti segnati con egual numero sulla nostra grande Carta lunare.



A) Rilievo fotografico della Luna
eseguito il 23 luglio 1893 all'Osservatorio Lick in California.

B e *C*) Fotografie della Corona solare durante alcuni eclissi di Sole.

B, Fotografia eseguita da Schaeberle nel Chile il 16 aprile 1893.
C, Fotografia eseguita da Wutschichowsky in Lapponia il 9 agosto 1896.

Teste di Comete

a) Testa della Cometa di Halley, disegnata da Schwabe il 15 ottobre 1835.
b) Cometa di Enke, disegnata da Schwabe il 12 novembre 1838.
c, *d*, *e*) Testa della Cometa 1881 III, disegnata da H. Thury, col refrattore di 10 pollici dell'Osservatorio di Ginevra, nei giorni 16, 27 e 28 giugno 1881.
f) Testa della grande Cometa del settembre 1882, disegnata da William Winlock al refrattore di 26 pollici in Washington il 3 marzo 1883.
g) La Cometa doppia di Biela, disegnata da Struve il 19 febbraio 1846.
h) Testa della grande Cometa del settembre 1882, disegnata da William Winlock al refrattore di 10 pollici in Washington il 19 ottobre 1882.

Teste di Comete

a) Testa della Cometa di Halley, disegnata da Schwabe il 15 ottobre 1835.
b) Cometa di Encke, disegnata da Schwabe il 12 novembre 1838.
c, d, e) Testa della Cometa 1881 III, disegnata da H. Thury, col rifrattore di 10 pollici dell'Osservatorio di Ginevra, nei giorni 16, 27 e 28 giugno 1881.
f) Testa della grande Cometa del settembre 1882, disegnata da William Winlock al rifrattore di 26 pollici in Washington il 3 marzo 1883.
g) La Cometa doppia di Biela, disegnata da Shrive il 19 febbraio 1846.
h) Testa della grande Cometa del settembre 1882, disegnata da William Winlock al rifrattore di 10 pollici in Washington il 19 ottobre 1882.

B C

Spettri di Stelle fisse

1. Spettro di α Aurigae (Capella), fotografato il 24 ottobre 1888.
2. Spettro di α Bootis (Arcturus).
3. Spettro di Sirio (α Canis maj.) il 22 marzo 1891, con sovrappostovi lo spettro del ferro, per confronto.
4. Spettro di β Lyrae il 22 dicembre 1893.
5. *a*) Spettro di Nova Aurigae nel 1892.
   b) » della Luna per confronto.
6. Spettro di Mira (o) Ceti il 22 febbraio 1896.
   (Sotto lo spettro di paragone di β Eridani).
7. Spostamento delle linee nello spettro di α Aurigae (Capella), in conseguenza del moto lungo la visuale ed influenza del moto della Terra sulla grandezza degli spostamenti.
   a) Movimento della Terra opposto a quello della Stella.
   b) Movimento della Terra perpendicolare alla visuale.
   c) Movimento della Terra in egual direzione di quello della Stella.
8. Spettro di Saturno, fotografato da W. W. Campbell all'Osservatorio Lick il 16 maggio 1895.
   a) Spettro del disco di Saturno e delle anse dell'anello.
   b, *c*) Spettro della Luna per confronto.